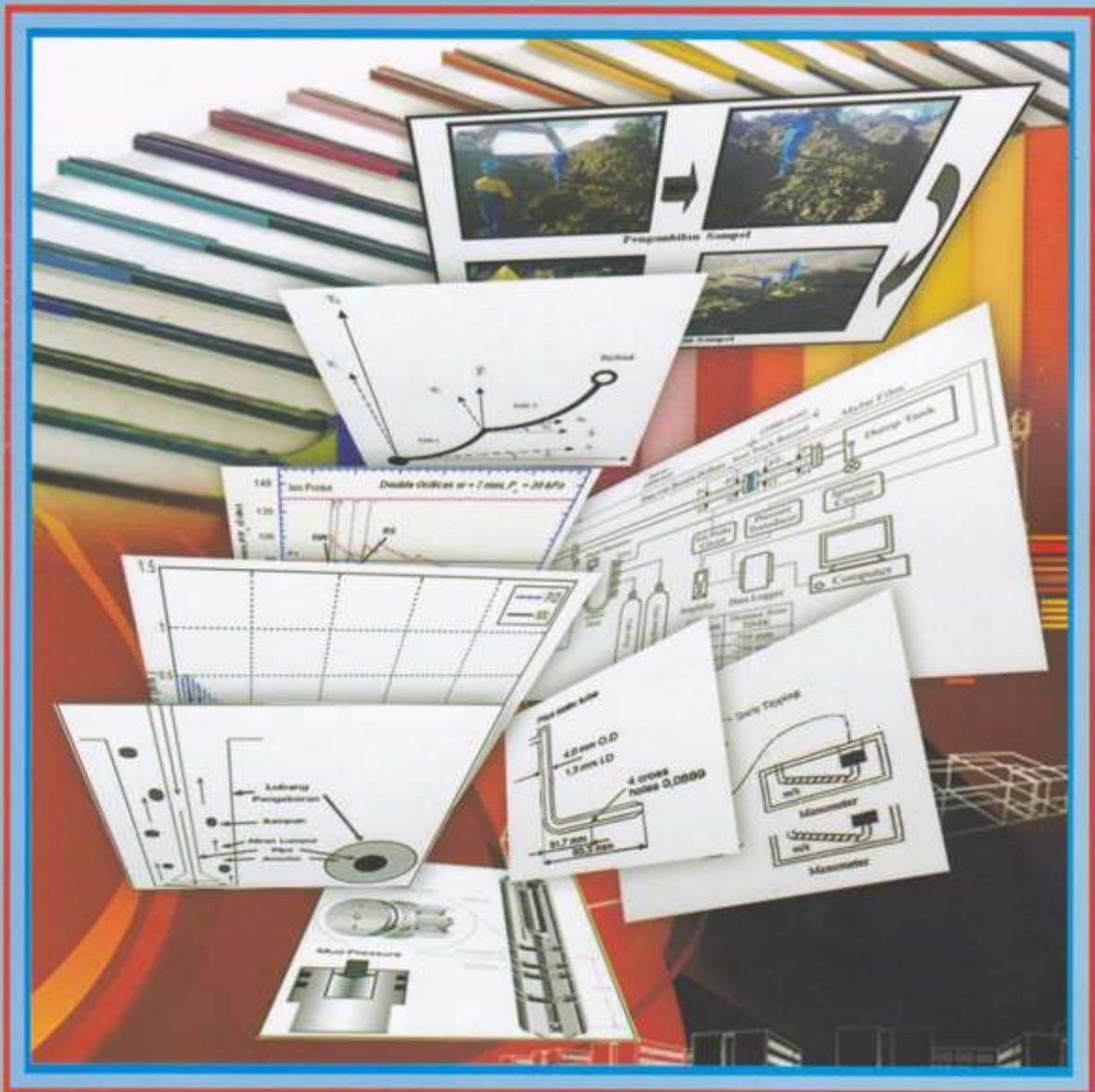


ISSN : 1979-8415

Jurnal Teknologi

TECHNOSCIENTIA

Vol. 4 No.2 Februari 2012



DAFTAR ISI

Analisa Chrome Deposit Dan Hardness Pada Proses Hard Chrome Dengan Variasi Arus untuk Roda Gigi Sepeda Motor <i>Basuki Widodo, Wahyu Panji Asmoro</i>	120 - 127
Kantin Kejujuran Berbasis Teknologi Informasi <i>Dina Andayati</i>	128 - 136
Model Interoperabilitas Antar Aplikasi <i>E-Government</i> <i>Jazi Eko Istiyanto, Edhy Sutanta</i>	137 - 148
Perancangan Model Pengukuran Kinerja <i>Corporate Social Responsibility</i> pada Pengembangan Bisnis UKM pada PT.YTL Jawa Timur <i>Eko Nurmianto, Naning Aranti Wessiani, Maidatul Munawaroh</i>	149 - 160
Virus Batch Sederhana <i>Erfanti Fatkhayah, Doddy Muhammad Isa</i>	161 - 168
Pengaruh Waktu Kontak dan Ukuran Adsorben Terhadap Pemurnian Bioetanol dari Kulit Nanas <i>Harimbi Setyawati, Nanik Astuti Rahman, Solekah</i>	169 - 172
Penjadwalan Produksi Pada Sistem Manufaktur <i>Repetitive Make To Order Flow Shop</i> Melalui Pendekatan <i>Theory Of Constraints</i> <i>Imam Sodikin, Aang Mashuri</i>	173 - 183
Analisa Perbandingan Pengukuran Tekanan <i>Annulus</i> Teori dan Langsung pada Proses Pengeboran Minyak Bumi <i>Khairul Muhajir, Sugijarto Prawiro Sentono, Esa Taufik</i>	184 - 192
Modelling And NN Control Of A Two-Link Flexible Robot Manipulator <i>Mohammad Khairudin</i>	193 - 201
Produksi Minyak Biji Kapuk dalam Usaha Pemanfaatan Biji Kapuk Sebagai Sumber Minyak Nabati <i>Murni Yuniwati</i>	202 - 212
Optimalisasi Pemanfaatan Bijih Nikel Kadar Rendah dengan Metode Blending Di PT. Antam Tbk. UBPN Sultra <i>Musnajam</i>	213 - 222
Kaji Eksperimental Karakteristik Aliran Eksternal pada Benda Tumpul Segiempat dengan Ujung Muka Ellips <i>Rachmat Subagyo</i>	223 - 232
Re-Inisiasi Detonasi di Belakang Plat Dengan Orifis Ganda 7 Mm <i>Rizqi Fitri Naryanto</i>	233 - 241
Desain Trafo <i>Coreless</i> Menggunakan Vizimag <i>Uminingsih</i>	242 - 250

ANALISA CHROME DEPOSIT DAN HARDNESS PADA PROSES HARD CHROME DENGAN VARIASI ARUS UNTUK RODA GIGI SEPEDA MOTOR

Basuki Widodo¹, Wahyu Panji Asmoro²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang

Masuk: 1 September 2011, revisi masuk : 6 Januari 2012, diterima: 23 Januari 2012

ABSTRACT

Most of common public equalizes term chrome metal bedding type cum all. When we call elektroplating which meraka intention is chrome. Chrome is metal bedding but in the application of his(its is applied in the form of solit like: mobil/motor, engine block awning, bumper and other aksesoris. Fundamental bedding applies nipple plating, that is layering metal with nipple base material this thing aim to get smooth equiamplitude surface and gleams. Just nipple doesn't make equiamplitude surface of metal arranged in layers gleams. After arranged in layers with chrome then equiamplitude surface of metal arranged in layers gleams glittering like at a mirror. In bedding of hard chrome it is important to know how big level of hardness to be gotten better bedding result, besides need to be known thickness of deposit so that can protect substance from friction with other substance. At this research done various current when bedding process of hard chrome. Current applied is 15 Amperes, 20 Amperes, 25 Amperes at temperature 45^o C. Is expected with existence of various current can yield level of varying hardness and thickness, so that knowable influence various current at process chrome at gear product. From result of research it is got that ever greater of current given increasingly downwards level of the hardness. So do with the thickness is ever greater is current which in giving, increasingly the chrome layer thick.

Keywords : chrome, current, hardness.

INTISARI

Sebagian besar masyarakat umum menyamakan istilah *chrome* dengan semua jenis pelapisan logam. Ketika kita menyebut *elektroplating* yang mereka maksud adalah *chrome*. *Chrome* adalah pelapisan logam tapi dalam aplikasinya digunakan dalam bentuk solit seperti: mobil/motor, tutup blok mesin, bumper dan aksesoris lainnya. Pelapisan dasar menggunakan nikel plating, yaitu melapis logam dengan bahan dasar nikel hal ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilat. Nikel saja tidak membuat permukaan logam yang dilapisi mengkilat. Setelah dilapisi dengan *chrome* barulah permukaan logam yang dilapisi mengkilat bercahaya seperti pada sebuah cermin. Dalam pelapisan *hard chrome* perlu diketahui seberapa besar tingkat kekerasan agar didapat hasil pelapisan yang lebih baik, selain itu perlu juga diketahui ketebalan deposit sehingga bisa melindungi benda dari gesekan dengan benda lain. Pada penelitian ini dilakukan variasi arus pada waktu proses pelapisan *hard chrome*. Arus yang digunakan adalah 15 Amper, 20 Amper, 25 Amper pada temperatur 45^o C. Diharapkan dengan adanya variasi arus dapat menghasilkan tingkat kekerasan dan ketebalan yang bervariasi, sehingga dapat diketahui pengaruh variasi arus pada proses *chrome* pada produk roda gigi. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa semakin besar arus yang diberikan semakin turun tingkat kekerasannya. Begitu juga dengan ketebalannya semakin besar arus yang di berikan, semakin tebal lapisan *chromenya*.

Kata Kunci : chrom, arus, kekerasan.

¹basuki42@yahoo.com

PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang ini perkembangan teknologi sangat pesat manusia banyak melakukan inovasi untuk kebutuhan dalam industri, dengan kemampuan berfikir serta berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dengan pesat. maka akan selalu membuat manusia merasa tertantang untuk terus menggali dan menganalisa ilmu pengetahuan dan teknologi salah satunya adalah tentang hard chrome. Ilmu pengetahuan teknik dan mesin khususnya, perkembangannya sangat cepat sebagai contoh : *hard chrome* yang memiliki fungsi sebagai bahan untuk memberi kesan atau tampilan lebih menarik. Proses chrome pada dasarnya merupakan proses melapisi logam (*electroplating*) dengan menggunakan chromium sebagai pelapis permukaan logam yang hendak dilapisi. Dengan lapisan dasar menggunakan tembaga plating yakni pelapis logam dengan bahan dasar tembaga kemudian di lapisi nikel hal ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilat. Adapun yang hanya menggunakan nikel dengan lapisan chrome atau asam sulfat saja. setelah dilapisi dengan chrome barulah permukaan logam yang dilapisi mengkilat dan bercahaya seperti pada sebuah cermin.

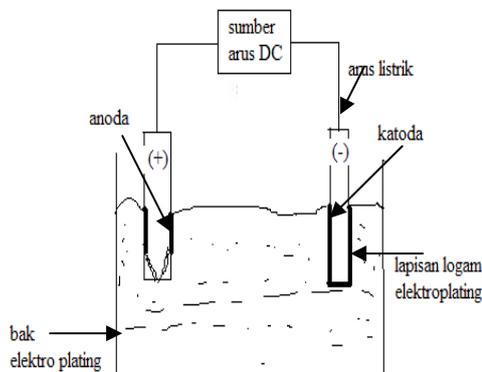
Krom digunakan untuk mengeraskan baja permukaan baja tahan karat dan membentuk banyak *alloy* (logam campuran) yang berguna. Kebanyakan digunakan dalam proses pelapisan logam untuk menghasilkan permukaan logam yang keras dan indah dan juga mencegah korosi *chrome* juga luas digunakan sebagai katalis industri refaktori. *Chrome* ditemukan pada tahun 1797 oleh *vauquelin* yang membuat logam krom pada tahun berikutnya krom adalah logam berwarna abu-abu, berkilau, keras sehingga memerlukan proses pemolesan yang cukup tinggi. Sebagaimana besar masyarakat umum menyamakan istilah krom dengan semua jenis lapisan logam ketika menyebut *elektroplating* yang mereka maksud adalah krom. padahal boleh jadi lapisan logam tersebut hanya menggunakan tembaga saja atau nikel saja atau gabungan keduanya, lapisan tembaga ke-

mudian di lapisi nikel, namun tidak menggunakan lapisan krom. Adalah salah satu teknik melapisi logam (*electroplating*) dengan menggunakan chromium, sebagai pelapis permukaan logam yang hendak dilapisi. *Chrome* adalah ungkapan populer dari chromium yang merupakan salah satu senyawa kimia dengan simbol Cr yang memiliki nomor atom 24 (Cr^{24}) chrome adalah logam tapi dalam aplikasi penggunaannya tidak efektif dalam bentuk solit. Seperti halnya : mobil / motor , tutup blok mesin , bumper , dan aksesoris lainnya. memerlukan lapisan dasar menggunakan nikel *plating*, yakni melapisi logam dengan bahan dasar nikel. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilat. Nikel *plating* saja tidak dapat membuat permukaan logam yang dilapisi mengkilat, akan tetapi masih tampak pucat dan kekuning-kuningan. setelah dilapisi dengan chrome barulah permukaan logam yang dilapisi mengkilat dan bercahaya seperti pada kaca. Untuk aplikasi *engineering* seperti lapisan silinder hidrolis, ring piston , mata bor , permukaan percetakan tidak mesti dilapisi nikel sebagai lapisan dasar. Cukup dengan memoles lapisan benda kerja sampai halus dan mengkilat lalu dilapisi dengan *chrome* . Perbedaan mendasar antara chrome plating (untuk *decorative*) dan *hard chrome* (untuk aplikasi *engineering*) adalah tebal tipis. *hard chrome* lapisannya lebih tebal dibandingkan chrome plating biasa.

Elektroplating merupakan salah satu bentuk penerapan dari metal *finishing*. Sering kali dinilai atau dihargai sebagai ilmu seni dan ilmu pengetahuan karena teori dan prakteknya dihasilkan dari banyak cabang dari ilmu pengetahuan dan teknologi. *Electroplating* merupakan cabang dari elektrokimia dan jika seseorang berharap untuk mendapatkan pengetahuan yang lebih mendalam dari formulasi dan komposisi dari larutan, maka pengetahuan tentang ilmu kimia sangat dibutuhkan. teknologi pelapisan juga memakai zat adiktif tetapi hingga saat ini zat adiktif yang ada sering kali dirahasiakan, sehingga informasinya terbatas dan hanya tersedia dalam bentuk patennya.

Dalam proses *electroplating* ini lapisan fasa padat (biasanya logam murni atau paduan) diendapkan atau dilapis secara elektrik dari sebuah larutan yang dengan proses yang dinamakan "*elektrodeposisi*" *elektrodeposisi* terbentuk selama proses elektrolisis terjadi dalam larutan yang mengandung garam-garam logam atau ion-ion logam yang dikenal sebagai "*elektrolit*". Arus masuk dan keluar elektrolit melalui dua elektroda penghubung yang dinamakan anoda dan katoda. Suluruh aliran arus (*konvensional*), Arus dalam larutan terdiri dari dua macam, yaitu aliran bermuatan positif dari anoda ke katoda atau juga aliran dari elektron dengan arah sebaliknya atau negatif. Kedua aliran ini umumnya mempunyai harga muatan yang sama atau ekuivalen .

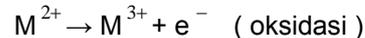
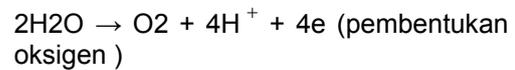
Istilah densitas arus anodik (i_a) adalah perkiraan dari total arus (I) yang dibagi dengan luas permukaan dari total anoda, demikian juga dengan istilah densitas arus katodik (i_c) adalah perkiraan total arus (I) yang dibagi dengan luas permukaan total dari katodik, dimana dalam proses *electroplating* bahwa (i_c) merupakan parameter yang lebih utama. Selama *elektrolisis* seluruh larutan yang mengandung ion membawa arus, tergantung pada konsentrasi dan mobilitas yang terjadi pada katoda, yang pada akhirnya mengarah pada pembentukan (yaitu sebuah kelebihan) dari kation positif pada katoda, dimana dari kebanyakan dari ion-ion yang bermuatan positif akan berkurang.



Gambar. 1 skema sederhana dari *elektroplating*

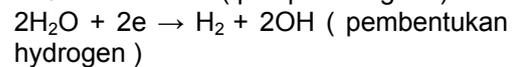
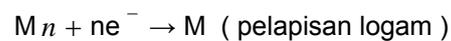
Anion dengan potensial bermuatan negative pada anoda akan teroksidasi. Pada tiap-tiap elektroda terdapat

lebih dari satu reaksi yang terjadi, diantaranya adalah, pada anoda :



Jika proses penguraian logam merupakan reaksi yang utama, maka dapat dikatakan bahwa proses ini memiliki efisiensi yang baik.

Pada katoda :



Jika proses lapisan logam merupakan proses yang utama, maka dapat dikatakan bahwa proses ini memiliki efisiensi arus yang baik. Elektrodeposisi bukanlah satu – satunya proses lapisan yang diketahui. Beberapa jenis dari *elektroplating* yang digunakan dalam industri, dimana secara singkat di jelaskan dibawah: *Electroforming* adalah jenis dari *electroplating* material yang akan *dielektroplating* tidak melekat pada logam dasarnya, tetapi dapat dihilangkan atau dibuang,

Elektrorefining merupakan suatu metode pemurnian logam (dengan menghilangkan pengotor). Sebuah lapisan yang tebal tanpa mementingkan segi penampilan dan kehalusannya. Tembaga, nikel, emas, timah dan logam yang lain diekstraksi dengan cara ini. *Electrorefining* menggunakan anoda inert yang tidak larut dalam larutan *plating* yang digunakan sebagai penghantar arus. Dalam beberapa kasus reaksi anoda akan terelektrolisis terhadap air, yaitu dengan melepaskan oksigen pada anoda dan terdapat endapan logam yang baik.

Elektroanalisis adalah teknik analisis untuk mengetahui kandungan logam dari larutan. Dalam metode ini anoda berupa anoda inert (*platinum*) dipergunakan dan kandungan metalik yang diendapkan pada katoda kemudian katoda di timbang kembali kemungkinan seseorang untuk menentukan persentase kandungan logam dalam larutan. Kerena

arus dan potensial merupakan variabel utama dalam proses *elektrodeposisi*, maka definisi dasar dan aspek elektrokimia yang berhubungan dengan *electroplating*. dalam *electroplating* arus dan distribusinya merupakan parameter yang sangat penting bila dibandingkan dengan potensial, karena biasa digunakan sebagai pengendali dari hasil pelapisan.

Tetapi terdapat jenis yang lain dari metode pelapisan yang tidak membutuhkan arus, dinamakan *alectroless plating* (pelapisan tanpa menggunakan aliran listrik) yang juga dikenal sebagai *immersion plating* atau *autocatalytic plating*, dalam proses ini logam diendapkan atau dilapiskan baik itu pada logam katalitik seperti baja dan aluminium atau pada unsur non metalik, misalnya plastic tanpa menggunakan arus listrik. Pada kedua kasus lapisan yang dihasilkan sangat tipis memiliki ketebalan berkisar antara 1- 100m .proses ini dilakukan untuk tujuan dekoratif serta memiliki kemampuan untuk tahan terhadap korosi. contohnya adalah *immersion* dari timah dapat digunakan untuk melapisi beberapa peralatan yang sangat kusam setelah dibakar atau di panggang.

Pada proses *elektrodeposisi* pengetahuan mengenai prinsip dasar kimia fisik akan memungkinkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai komposisi dan sifat dari endapan atau lapisan. Termodinamika menjelaskan tentang energi bebas dan potensial dari reaksi dan reaksi yang dapat terjadi sementara kinetika elektroda menjelaskan kecepatan dari suatu reaksi. Yang termasuk dalam kelompok *electroplating dekoratif* dan *protektif* disini adalah :tembaga, nikel dan kromium . dasar pengelompokan tembaga ,nikel dan kromium menjadi satu topik pembahasan tersendiri adalah biasanya ketiga jenis logam tersebut dipakai plating bersama-sama pada satu benda kerja, tetapi pada masyarakat umum dikenal dengan nama "plating krom/ verkrum".

Kegunaan dari plating tembaga ,nikel, dan kromium adalah sebagai fungsi dekoratif atau protektif. masing-masing mempunyai aplikasi tersendiri. tembaga merupakan besar penggunaannya sebagai plating dasar yang baik sebelum

plating nikel dan krom. Nikel, dengan atau tanpa dasar tembaga memiliki kegunaan yang besar dibidang teknik karena memiliki sifat fisik yang menguntungkan, seperti tahan aus ,tahan korosi dan biasa dipakai dalam *elektroforming*. Sedangkan kromium sendiri memiliki sifat utama yang sangatkeras, getas dan mengkilat. Sebagian besar dalam aplikasinya, plating tembaga, nikel,krom adalah sebagai *elektroplating* standart yang sering digunakan orang sekalipun ketiga unsure ini memiliki sifat kimia dan sifat fisik yang berbeda.

Tabel. 1 Data Property Chomium

Nomor Atom	24
Berat Atom	51,996
Konfigurasi Elektronik	1s2s2p3s3p3d4s
Struktur kristal	BCC
Titik Leleh Dalam °C	1875
Titik Didih Dalam °C	2199
Kepadatan Dalam gr/cm ³ , 20 °C	7,19
Elektrical resistiviti, μΣ-cm, 20°C	12,9
Konduktifitas%IACS	14
Kekuetan tarik, Mpa < 500 °C	175
POtensial standart, E° ,25 °C volt	
Cr ³⁺ +3e ⁻ → Cr	-0,71
Cr ³⁺ + e → Cr ²⁺	-0,41

Pelapisan krom banyak dilaksanakan untuk mendapatkan permukaan yang sangat menarik. Karena sifat khas krom yang sangat tahan karat maka pelapis krom mempunyai kelebihan tersendiri bila dibanding denagn pelapis lainnya .selain sifat *dekoratif* dan atraktif dari pelapisan krom.keuntungan lain dari lapisan krom adalah dapat dicapai hasil pelapisan yang keras.. sumber logam krom dapat dari asam kromat tapi dalam perdagangan yang tersedia adalah krom oksida (CrO3) sehingga terdapatnya asam krom adalah pada waktu krom oksida bercampur dengan air. *Plating* krom dekoratif (dikenal dengan nama krom cerah) menghasilkan deposit lapisan tipis berwarna putih kebiru-biruan,

mengkilat dan biasanya didahului dengan *plating* dasar tembaga dan nikel, kecuali untuk *plating* pada baja. *plating* secara langsung pada logam dasar untuk tujuan dekoratif krom tidak bisa digunakan karena tidak dapat mencukupi dalam hal ketahanan terhadap korosi.

METODE

Aplikasi pelapisan krom cukup luas baik untuk tujuan dekoratif yang hanya mementingkan keindahan warna serta rupa, maupun untuk dipergunakan bagi keperluan teknologi. Dari kedua macam kepentingan serta kegunaan pelapisan krom, maka dapat dibagi menjadi dua yaitu *Decorative chromium* dan *Hard chromium*

Perbedaan utama *decorative chromium* dan *hard chromium* ialah bahwa depositnya jauh lebih tebal dan sifat fisiknya yang sangat penting. Lapisan *hard chromium* disebut juga sebagai industrial atau *engineering chromium plating* dan ini berbeda dengan lapisan *decorative chromium*, dimana memiliki tujuan sebagai berikut: ketebalan *hard chromium* antara 0,1 sampai 0 mils serta untuk aplikasi tertentu ketebalannya bisa lebih, sedang untuk ketebalan *decorative chromium* kurang dari 0,1 mils. Lapisan *decorative chromium* memerlukan logam pelapis dasar seperti tembaga dan nikel sedang *hard chromium* langsung dipakai melapisi tanpa harus pelapis dasar.

Dua metode dimana operator dapat merubah struktur dari deposit adalah: a) dengan mengubah komposisi larutan *plating* dan b) Dengan merubah kondisi operasi dari hasil lapisan. Tiga prinsip yang dapat dilakukan dalam sebuah operasi pelapisan pada larutan yang diberikan adalah dalam (a) densitas arus, yaitu kecepatan dari deposisi, (b) metode atau derajat dari agitasi dan pengadukan, serta (c) temperatur.

Densitas Arus: untuk mencapai produksifitas yang bagus, maka dalam prakteknya diinginkan untuk menggunakan densitas sebesar mungkin, karena berpengaruh terhadap kecepatan lapisan. didalam batas tertentu pada kisaran densitas arus yang diperbolehkan penggunaannya yang cenderung untuk menghasilkan lapisan yang sifatnya kasar dan

bercabang (kilau kurang sempurna) dan bila densitas arus ditingkatkan lagi akan menghasilkan lapisan yang berpori (*spongi*), dimana biasanya banyak terandung ion hydrogen yang menyisip.

Agitasi/pengadukan: Pengadukan dari larutan *plating* baik dilakukan baik itu dengan mengalirkan *elektrolit* dengan sangat cepat atau dengan menggerakkan katoda. pada umumnya pengadukan dari larutan memberi kebutuhan garam logam yang baru atau ion-ion pengganti katoda, oleh sebab itu dapat memfasilitasi penggantian dari ion-ion logam pada permukaan katoda. Pengadukan memiliki fungsi yang lain, yaitu untuk menghilangkan gelembung gas *hydrogen* yang dapat terbentuk, dimana dapat mengakibatkan korosi. pengadukan juga sangat diperlukan karena pengadukan mencampur larutan *plating* dengan zat aditif lainnya dan mencegah pengendapan larutan yang menuju bagian bawah bak *plating*. singkatnya pengadukan dapat menggunakan densitas arus yang lebih besar untuk mendapatkan hasil pelapisan yang lebih produktif dan hasilnya tebal.

Temperatur: Pada umumnya peningkatan temperatur larutan mengakibatkan peningkatan dalam ukuran kristal. Pengaruh dari temperature diakibatkan oleh solubilitas/kelarutan yang lebih besar dan penguraian dari garam logam, dimana dapat meningkatkan konduktivitas dari kelarutan. Temperatur yang tinggi meningkatkan mobilitas dari ion logam dan menurunkan viskositas dari larutan, dan ion-ion logam dengan cepat dapat digantikan. Hal ini mengurangi kecenderungan terhadap pembentukan percabangan dan juga meningkatkan densitas larutan sesuai dengan tegangan yang ditentukan. keuntungan lain dari temperatur yang tinggi adalah penyerapan atau penyisipan dari ion hydrogen yang lebih sedikit dan tegangan yang diperlukan juga lebih kecil efisiensi biaya listrik serta mengurangi kecenderungan terhadap hasil lapisan yang terbentuk retakan secara makro khususnya untuk baja, nikel.

Pengaruh Dari Komposisi Larutan: Kebanyakan logam yang digunakan dalam proses pelapisan dapat didapatkan berasal lebih dari satu tipe larutan, dimana tiap-tiap larutan mungkin cocok

untuk aplikasi tertentu. Dalam tiap tipe dari larutan, disana terdapat cakupan luas dari komposisi dan konsentrasi dari larutan, tugas dari operator larutan adalah untuk memilih, jenis larutan, komposisi larutan yang tepat untuk tujuan tertentu dan perbandingan dari garam logam untuk *plating alloy*. Pada umumnya penurunan dari konsentrasi ion logam akan meninggalkan polarisasi katoda, menurunkan ukuran dari butiran kristal dan peningkatan *throwing power*, maka untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan operator pada proses *elektroplating* dengan menggunakan zat aditif.

Plating operation terdapat sebuah deret atau jalur dari bak-bak pelapisan yang mengandung cairan kimia pembersih (biasanya larutan asam klorida) air pembilas, cairan kimia pasifasi, but rail, komponen yang untuk memegang bagian yang akan dilapisi, rectifier (penyearah arus) dan pengering plating

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Karbon merupakan unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk plat, lembaran, pipa, batang profil dan sebagainya. Untuk menambah dari sifat dari bahan baja tersebut, maka diperlukan adanya proses khusus, yaitu dengan cara dilakukan proses pelapisan logam. Lapisan logam atau metalik merupakan penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dengan lingkungan sekelilingnya. Sifat-sifat dari bahan yang akan digunakan harus memenuhi kriteria, antara lain: Harus lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan dibanding logam yang akan dilindungi; Tidak memicu korosi pada logam yang akan dilindungi bila terjadi goresan; Komponen tersebut harus memenuhi persyaratan operasional, seperti kelenturan dan kekerasannya harus cukup memenuhi persyaratan; Metode pelapisan harus disesuaikan dengan proses fabrikasi yang digunakan untuk membuat produk tersebut, tebal dari pelapisan harus sama rata.

Proses Plating Deposit, efisiensi katoda ialah nisbah antara berat logam

terendapkan terhadap nilai teoriteknya (dikalikan 100) reaksi samping, yang membuat efisiensi yang tidak 100% biasanya disebabkan oleh pengeluaran gas hydrogen (dan dari anoda hydrogen) akibat penguraian air. Apabila ion ferri ada ia dapat tereduksi menjadi ferro. Sebaliknya di anoda jadi larutan yang mengandung ferro dan ferri dapat dielektrolisis tanpa batas, tanpa mengubah komposisi. Ion-ion yang dapat direduksi lainnya dapat memperendah efisiensi tanpa pengeluaran hydrogen, bila ion netrat ada di larutan, mudah tereduksi menjadi nitrit, nitrogen atau amoniak dengan berkurangnya pengendapan.

Pada pengendapan, ion logam bersama ligan-ligannya melekatkan diri kebeberapa kedudukan tertentu, membentuk ikatan dengan permukaan katoda dan sebagian muatannya ternetralisasi (disebut adion) adion menyebar dipermukaan bertumbuh mengisi cacat-cacat, bertumbuh lateral sampai akhir kisi-kisi bertetangga saling bertemu membentuk batas butiran, terus bertumbuh deposit makin tebal.

Logam terendam kesubstrat bercacat, cenderung masuk keposisi-posisi yang melanjutkan kestuktur subtract. Akibatnya sering tercipta stuktur-struktur tak normal. tetapi apabila stuktur kisi subtract dan pelapis serupa (secsra geometris dan dinamis) stuktur cenderung berlanjut. Ini disebut EPITEXI sebaliknya bila struktur amat berlainan, kisi tidak normal terlalu kecil, butiran besar tak terbentuk. Beberapa permukaan Kristal tumbuh cepat butiran menjadi berarah. Bila rapat arus tinggi pertumbuhan cepat posisi deposit dapat bukan pada yang stabil. semua ini menghambat epitaxi. stress pada deposit bukan merupakan masalah pada pengendapan timah timbale dan katmium. Namun stress dapat sangat berbahaya menyebabkan keretakan dan pengelupasan deposit, penyebab stress bermacam-macam, misalnya tidak tepatnya perhitungan parameter kisi pengotot luar (oksida, hidroksida, air, belerang, karbon hydrogen dan berbagai logam). Akibatnya kisi tak normal, butiran getas dan sebagainya. bila deposit bebas stress, sifat mekanis deposit plating serupa dengan logam biasa.

PEMBAHASAN

Dengan adanya variasi arus ternyata didapatkan nilai kekerasan Vickers tertinggi adalah pada arus 15 amper dengan beban sebesar 50 gram yaitu sebesar 721,3 HV, sedangkan pada variasi arus 20 amper dengan beban 50 gram mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 621,5HV dan arus 25A dengan beban 50gr juga mengalami penurunan nilai kekerasan yaitu sebesar 561,6HV. Jika dibandingkan dengan nilai kekerasan benda uji awal yang sebesar 251,3HV, maka terjadi peningkatan nilai kekerasan antara 210,3–470HV.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Kekerasan

No.	Arus (Amper)	Beban (gram)	d rata-rata	HV
1	15	50	61	737
2			60,5	750
3			62,5	702
4			62,5	702
5			63,5	680
6			63	691
7			61,5	725
8			62	714
9			60	762
10			60,5	750
Rata-rata				721,3
1	20	50	65	649
2			67	611
3			66	630
4			58	593
5			65,5	640
6			67	611
7			64,5	660
8			66,5	620
9			65	649
10			70,5	552
Rata-rata				621,5
1	25	50	71	544
2			70	560
3			70	560
4			71,5	537
5			70,5	552
6			71	544
7			72	529
8			69,5	568
9			67,5	602
10			66,5	620
Rata-rata				561,6
Kekerasan specimen awal				251,3

Pelapisan dengan arus 15 amper

$$A = \left[\frac{\pi}{4} \times D I^2 \times L t \right] - \left[\frac{\pi}{4} \times D o^2 \times L o \right]$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (60)^2 \times 6 - \left[\frac{\pi}{4} \times (20)^2 \times 6 \right]$$

$$= 16964,6 - 1884,9 = 15079,7 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapat ketebalan deposit sebesar

$$T = \frac{w1 - w0}{A} \times \frac{1000}{\rho}$$

$$= \frac{85,74 - 85,7}{15079,7} \times \frac{1000}{7,8} = 0,3 \mu\text{m}$$

Tabel 3 Data Hasil Pengujian Ketebalan (Deposit)

No Spesi men	Dia meter (do) (gram)	Berat awal (wo) (gram)	Berat setelah di Lapisi (w1) (gram)	Arus (Amper)
1	60	85,7	85,74	15
2	60	85,69	85,76	20
3	60	85,7	85,79	25

Pelapisan dengan arus 20 amper

$$A = \left[\frac{\pi}{4} \times D I^2 \times L t \right] - \left[\frac{\pi}{4} \times D o^2 \times L o \right]$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (60)^2 \times 6 - \left[\frac{\pi}{4} \times (20)^2 \times 6 \right]$$

$$= 16964,6 - 1884,9 = 15079,7 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapat ketebalan deposit sebesar

$$T = \frac{w1 - w0}{A} \times \frac{1000}{\rho}$$

$$= \frac{85,76 - 85,69}{15079,7} \times \frac{1000}{7,8} = 0,5 \mu\text{m}$$

Pelapisan dengan arus 25 amper

$$A = \left[\frac{\pi}{4} \times D I^2 \times L t \right] - \left[\frac{\pi}{4} \times D o^2 \times L o \right]$$

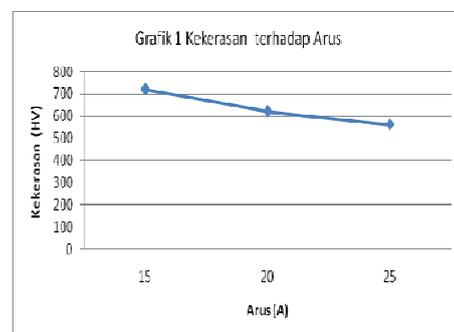
$$= \frac{\pi}{4} \times (60)^2 \times 6 - \left[\frac{\pi}{4} \times (20)^2 \times 6 \right]$$

$$= 16964,6 - 1884,9 = 15079,7 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapat ketebalan deposit sebesar

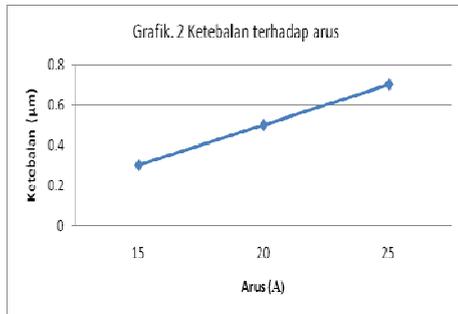
$$T = \frac{w1 - w0}{A} \times \frac{1000}{\rho}$$

$$= \frac{85,79 - 85,7}{15079,7} \times \frac{1000}{7,8} = 0,7 \mu\text{m}$$



Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai ketebalan deposit untuk arus 15 amper dengan beban 50gr yaitu sebesar 0,3µm sedangkan untuk arus 20 amper dengan beban 50gr yaitu sebesar

0,5 μm dan pada arus 25 amper dengan beban 50 gram yaitu sebesar 0,7 μm , jadi dengan semakin tinggi arus yang digunakan maka ketebalan deposit semakin besar.



Dengan adanya kenaikan nilai kekerasan dan nilai ketebalan deposit pada hasil proses *hard chrome* maka angka gesekan semakin kecil, tahan korosi dan roda gigi semakin tahan aus.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian didapat bahwa semakin kecil arus yang di berikan semakin besar/tinggi tingkat kekerasannya yaitu sebesar 721,3HV dan dari hasil pengujian ketebalan deposit didapatkan bahwa semakin besar arus yang di berikan maka semakin tebal lapisan chromenya yaitu sebesar 0,7 μm .

DAFTAR PUSTAKA

- Anton J.hartomo, Tomijiro kaneko, 1992, Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating), Andi Offset, Yogyakarta.
- Djapri, S. 2000, Teknologi Mekanik I. Edisi Ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- I Ketut Suarsa, Pengaruh waktu pelapisan nikel pada tembaga dalam pelapisan khrom dekoratif terhadap tingkat kecerahan dan ketebalan lapisan, jurnal ilmiah teknik mesin CAKRAM vol. 2 no : 1, juni 2008 (48-60), Universitas Udayana Bali
- Kenneth R. tretherwey, BSc, Ph.D, CChem., MRSC, MICorr. ST, 1991, **Korosi**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta,
- N.V.Parthasaradhy, 1998, Practical electroplating handbook. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Smith, WF, 2002, *Foundations of Material Science And Engineering*, Mc Graw, Hill International Editions, Singapore.
- Surdia, T & Shinroku, S. 2000, Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, Jakarta.
- ____ 1998, Teknologi Pelapisan Logam Secara Listrik, BPPT, Program Penerangan IPTEK di daerah Jakarta

en.wikipedia.org/wiki/Chromium.

www.finishing.com/faqs/chrome.html

KANTIN KEJUJURAN BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Dina Andayati¹

¹Jurusan Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 14 Oktober 2011, revisi masuk : 8 Januari 2012, diterima: 27 Januari 2012

ABSTRACT

Honesty cafeteria is now widely applied in schools, in order to educate students to learn about honesty. Honesty cafeteria formed upon the cooperation of Corruption Eradication Commission (KPK) and the AGO, in the framework of education as early as possible to students to be honest, to anticipate the act of corruption. Honesty cafeteria is a canteen that sells snacks and drinks. Unguarded honesty cafeteria, canteen available at the cash box, which is useful to accommodate the payment and when there is change, students take for change from inside the box. Honesty cafeteria-based information technology is one solution to minimize the dishonesty that occurs, because with honesty cafeteria system manually then there is still a lot of dishonesty. In honesty cafeteria manually box containing the money, opened freely by the students. While the use of information technology-based honesty cafeteria, the box containing the money could be locked because they do not need a refund.

Key words: *honesty cafeteria, students and information technology*

INTISARI

Kantin kejujuran sekarang ini banyak diterapkan di sekolah-sekolah, dalam rangka mendidik siswa untuk belajar tentang kejujuran. Kantin kejujuran terbentuk atas kerjasama pihak Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK) dan Kejaksaan, dalam rangka pendidikan sedini mungkin kepada siswa untuk berlaku jujur, untuk mengantisipasi tindakan korupsi. Kantin kejujuran adalah kantin yang menjual makanan kecil dan minuman. Kantin kejujuran tidak dijaga, di kantin tersedia kotak uang, yang berguna menampung pembayaran dan bila ada kembalian, siswa mengambil uang kembalian dari dalam kotak tersebut. Kantin kejujuran berbasis teknologi informasi merupakan salah satu solusi untuk meminimalkan ketidak jujuran yang terjadi, karena dengan menggunakan sistem kantin kejujuran secara manual maka masih banyak terjadi ketidak jujuran. Dalam kantin kejujuran secara manual kotak yang berisi uang, dibuka bebas oleh siswa. Sedangkan menggunakan kantin kejujuran berbasis teknologi informasi, kotak yang berisi uang bisa dikunci karena tidak perlu uang pengembalian.

Kata kunci : kantin kejujuran, siswa dan teknologi informasi.

PENDAHULUAN

Belajar menanamkan nilai-nilai kejujuran melalui kantin sekolah, kini tengah menjadi model yang mulai dilakukan oleh banyak sekolah. Kejujuran merupakan pangkal dari akhlak dan budi pekerti yang kini mulai dirasakan makin sedikit dimiliki bangsa Indonesia. Kejujuran adalah nilai tawar moral yang paling tinggi yang akan menjadi fondasi kepribadian seseorang yang dalam mengarungi hidupnya, baik secara individu, makhluk sosial, maupun ketika

harus menjadi pemangku kewajiban terkait dengan tugas pekerjaannya. Minimnya akhlak dan budi pekerti ini, menjadi mentalitas bangsa buruk, menimbulkan krisis moral yang akan berdampak buruk, seperti maraknya korupsi.

Kantin kejujuran merupakan proyek kerjasama Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK) dan Kejaksaan, tahun 2006 KPK membuat buku panduan Warung Kejujuran guna membantu melakukan sosialisasi. Ide tersebut

¹dina_asnawi@yahoo.com

akhirnya dikembangkan Kejaksanaan untuk diterapkan di sekolah-sekolah dengan menamakan program Kantin Kejujuran. Tujuan jangka panjang untuk membentuk generasi penerus yang bersih dan jujur, karena dengan kantin kejujuran ini menjadi ajang pembelajaran bagi generasi muda tentang pentingnya kejujuran terhadap diri sendiri, lingkungan, hingga bangsa dan negara. Kantin kejujuran merupakan tempat untuk melatih kejujuran, sehingga tugas KPK dalam memberantas korupsi, dapat melakukan pendidikan antikorupsi sedini mungkin, melalui kantin kejujuran di sekolah. Kejujuran merupakan salah satu bentuk kegiatan dalam pendidikan antikorupsi. (Kurniawan dkk., 2009)

Kantin kejujuran adalah kantin yang menjual makanan kecil dan minuman. Kantin kejujuran tidak memiliki penjual dan tidak dijaga. Makanan atau minuman dipajang dalam kantin. Dalam kantin tersedia kotak uang, yang berguna menampung pembayaran dari yang membeli makanan atau minuman. Bila ada kembalian, pengunjung/ pembeli mengambil dan menghitung sendiri uang kembalian dari dalam kotak tersebut. Di kantin ini, kesadaran pengunjung/ pembeli sangat dituntut untuk berbelanja dengan membayar dan mengambil uang kembalian jika memang berlebih, tanpa harus diawasi oleh orang lain (pegawai kantin).

Pada pelaksanaan program kantin kejujuran secara manual di atas terdapat banyak hambatan ketidakjujuran yang terjadi, misalnya seorang siswa mengaku membayar 2 teh botol dan 5 roti, padahal kenyataannya siswa membeli 5 teh botol dan 10 roti. Ketidakjujuran juga bisa terjadi, siswa membayar dengan mengambil uang kembalian, padahal siswa membeli dengan uang yang kurang. Kotak uang yang ada di kantin kejujuran sifatnya juga tidak aman, karena posisi kotak terbuka dan siswa boleh membuka kotak uang itu dengan bebas.

Saat ini perkembangan teknologi informasi dan komunikasi serta peran komputer yang sangat pesat di dalam kehidupan manusia. Kebutuhan akan perangkat lunak yang handal menjadi

sebuah tuntutan yang harus dipenuhi untuk berkembangnya sebuah perangkat lunak tersebut. Salah satu kegiatan kehidupan manusia yang dipermudah dengan bantuan perangkat lunak adalah dalam hal jual beli seperti yang sering dijumpai pada supermarket. Perangkat lunak, sistem informasi pembayaran jual beli diatas dapat dikembangkan sebagai sebuah perangkat lunak kantin kejujuran yang terkomputerisasi, yang akan membantu dan mempermudah baik dari sisi pelanggan maupun dari sisi pengelola dalam hal pengolahan data barang dan proses transaksi. (Prasethio, 2011)

Permasalahan tersebut yang melatar belakangi penulis untuk membuat rancangan dari kondisi kantin kejujuran secara manual, dikembangkan menjadi kantin kejujuran yang berbasis teknologi informasi. Terjadinya proses perubahan ini diharapkan meminimalisasi adanya ketidakjujuran di dalam kantin kejujuran. Sistem yang terkomputerisasi akan semakin efektif dan akurat, sehingga ketidakjujuran diharapkan akan terlihat dengan jelas. Rumusan masalah penelitian ini adalah merancang sistem yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kejujuran dalam suatu kantin kejujuran. Batasan masalah dalam penelitian ini masih dalam taraf perancangan data base, disain input dan output yang dikehendaki. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kantin kejujuran berbasis teknologi informasi, yang diharapkan akan mempermudah pengontrolan barang, sehingga terlihat tingkat kejujuran yang ada di Kantin Kejujuran.

METODE

Penelitian ini memanfaatkan studi pustaka terhadap teori-teori yang mendukung dalam perancangan kantin kejujuran berbasis teknologi informasi. Teknologi Informasi (TI), atau dalam bahasa Inggris dikenal dengan istilah *Information Technology (IT)* adalah istilah umum yang menjelaskan teknologi apa pun yang membantu manusia dalam membuat, mengubah, menyimpan, mengomunikasikan dan menyebarkan informasi. TI menyatukan komputasi dan

komunikasi berkecepatan tinggi untuk data, suara, dan video. Contoh dari Teknologi Informasi bukan hanya berupa komputer pribadi, tetapi juga telepon, TV, peralatan rumah tangga elektronik, dan peranti genggam modern (misalnya ponsel).

Teknologi Informasi adalah bidang pengelolaan teknologi dan mencakup berbagai bidang tetapi tidak terbatas pada hal-hal seperti proses sistem, sistem informasi, perangkat keras komputer, bahasa program, dan data konstruksi. Singkatnya, apa yang membuat data, informasi atau ilmu pengetahuan yang dirasakan dalam format visual apapun, melalui setiap mekanisme distribusi multimedia, dianggap bagian dari TI.

Teknologi Sistem Informasi adalah kombinasi teknologi informasi dan aktivitas orang yang menggunakan teknologi itu untuk mendukung operasi dan manajemen. Dalam arti yang sangat luas, istilah sistem informasi yang sering digunakan merujuk kepada interaksi antara orang, proses algoritmik, data, dan teknologi. Dalam pengertian ini, istilah ini digunakan untuk merujuk tidak hanya pada penggunaan bentuk organisasi Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), tetapi juga untuk cara orang berinteraksi dengan teknologi ini dalam mendukung proses bisnis.

Basis data adalah kumpulan informasi yang disimpan di dalam komputer secara sistematis sehingga dapat diperiksa menggunakan suatu program komputer untuk memperoleh informasi dari basis data tersebut. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengelola dan memanggil kueri (*query*) basis data disebut sistem manajemen basis data (*database management system*, DBMS). Konsep dasar dari basis data adalah kumpulan dari catatan-catatan, atau potongan dari pengetahuan. Sebuah basis data memiliki penjelasan terstruktur dari jenis fakta yang tersimpan di dalamnya: penjelasan ini disebut skema. Skema menggambarkan obyek yang diwakili suatu basis data, dan hubungan di antara obyek tersebut. Ada banyak cara untuk mengorganisasi skema, atau struktur

basis data: ini dikenal sebagai model basis data atau model data. Model yang umum digunakan sekarang adalah Model Relasional, yang mewakili semua informasi dalam bentuk tabel-tabel yang saling berhubungan dimana setiap tabel terdiri dari baris dan kolom (definisi yang sebenarnya menggunakan terminologi matematika). Dalam model ini, hubungan antar tabel-tabel diwakili dengan menggunakan nilai yang sama antar tabel. MySQL adalah sebuah perangkat lunak sistem manajemen basis data SQL (bahasa Inggris: *database management system*) atau DBMS yang *multithread*, *multi-user*, dengan sekitar 6 juta instalasi di seluruh dunia. MySQL AB membuat MySQL tersedia sebagai perangkat lunak gratis dibawah lisensi GNU General Public License (GPL), tetapi mereka juga menjual dibawah lisensi komersial untuk kasus-kasus dimana penggunaannya tidak cocok dengan penggunaan GPL. SQL (*Structured Query Language*) adalah bahasa yang dipergunakan untuk mengakses data dalam basis data relasional. Bahasa ini secara *de facto* merupakan bahasa standar yang digunakan dalam manajemen basis data relasional. Saat ini hampir semua server basis data yang ada mendukung bahasa ini untuk melakukan manajemen datanya.

Definition Data Language (DDL) digunakan untuk mendefinisikan, mengubah, serta menghapus basis data dan objek-objek yang diperlukan dalam basis data, misalnya tabel, view, user, dan sebagainya. Secara umum, DDL yang digunakan adalah CREATE untuk membuat objek baru, USE untuk menggunakan objek, ALTER untuk mengubah objek yang sudah ada, dan DROP untuk menghapus objek. DDL biasanya digunakan oleh administrator basis data dalam pembuatan sebuah aplikasi basis data. *Tipe_data* tergantung implementasi sistem manajemen basis data. Misalnya, pada MySQL, tipe data dapat berupa VARCHAR, TEXT, BLOB, ENUM, dan sebagainya. *Constraints* adalah batasan-batasan yang diberikan untuk tiap kolom. Ini juga tergantung implementasi sistem manajemen basis data, misalnya NOT NULL, UNIQUE, dan

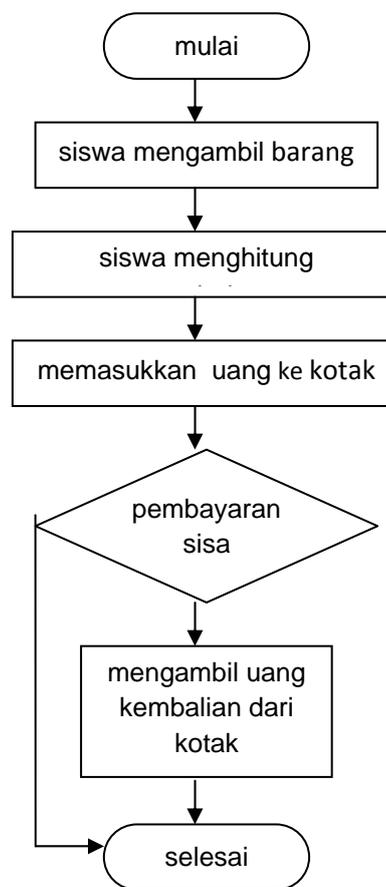
sebagainya. Ini dapat digunakan untuk mendefinisikan kunci primer (*primary key*) dan kunci asing (*foreign key*). Satu tabel boleh tidak memiliki kunci primer sama sekali, namun sangat disarankan mendefinisikan paling tidak satu kolom sebagai kunci primer.

Sistem informasi manajemen (*Management Information System*) adalah bagian dari pengendalian internal suatu bisnis yang meliputi manusia, dokumen, teknologi, dan prosedur oleh unit bagian akuntansi manajemen untuk memecahkan masalah bisnis seperti biaya-biaya produk, layanan, atau suatu strategi bisnis. Adapun Tujuan sistem informasi manajemen antara lain menyediakan informasi yang dapat dipergunakan di dalam perhitungan proses harga pokok jasa, produk, dan tujuan lain yang diinginkan manajemen, menyediakan informasi yang dapat dipergunakan dalam perencanaan, pengendalian, pengevaluasian, dan perbaikan berkelanjutan, menyediakan informasi untuk pengambilan keputusan.

Dalam ilmu matematika dan komputasi, algoritma merupakan kumpulan perintah untuk menyelesaikan suatu masalah. Perintah-perintah ini dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa apa saja, dengan catatan untuk setiap masalah, ada kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Algoritma akan dapat selalu berakhir untuk semua kondisi awal yang memenuhi kriteria, dalam hal ini berbeda dengan heuristik. Algoritma sering mempunyai langkah pengulangan (iterasi) atau memerlukan proses pengambilan keputusan (logika Boolean dan perbandingan) sampai akhir proses sistem selesai. Desain dan analisis algoritma adalah suatu cabang khusus dalam ilmu komputer yang mempelajari karakteristik dan performa dari suatu algoritma dalam menyelesaikan masalah, terlepas dari implementasi algoritma tersebut. Dalam cabang disiplin ini algoritma dipelajari secara abstrak, terlepas dari sistem komputer atau bahasa pemrograman yang digunakan. Algoritma yang berbeda

dapat diterapkan pada suatu masalah dengan kriteria yang sama.

Algoritma kantin kejujuran konvensional secara manual meliputi beberapa tahapan yaitu siswa mengambil barang, siswa menghitung pembelian, siswa membayar dengan memasukkan uang ke dalam kotak pembayaran, jika uang pembayaran berlebih, maka siswa mengambil uang pengembalian. Gambar berikut diagram alir untuk transaksi secara manual;

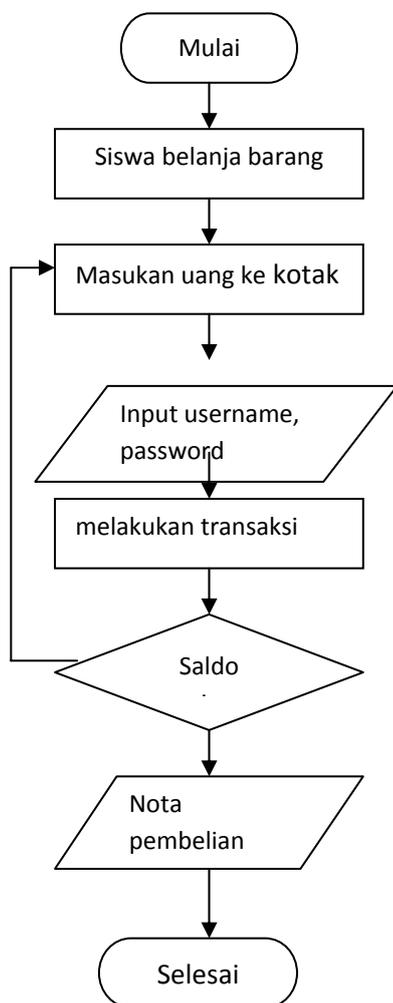


Gambar 1. Diagram Alir Transaksi Secara Manual

Dalam kantin kejujuran secara konvensional dapat terjadi beberapa kecurangan atau ketidak jujuran antara lain : pada uang pemasukkan, yaitu siswa memasukkan uang tidak sesuai nominal, juga pada pengembalian uang, siswa bisa mengambil uang kembali tidak sesuai dengan perhitungan yang ada. Ketidak jujuran bisa juga terjadi pada pengambilan barang, barang diambil

tidak sesuai dengan kuantitas barang, jenis barang, harga barang.

Algoritma kantin kejujuran berbasis teknologi informasi atau terkomputerisasi meliputi beberapa tahapan yaitu siswa belanja barang, memasukan uang ke kotak, input username, password, melakukan transaksi, jika saldo cukup, cetak nota, jika tidak masukkan uang ke kotak lagi. Gambar berikut diagram alir untuk transaksi secara komputerisas.



Gambar 2. Diagram Alir Transaksi Secara Komputerisasi

Perancangan sistem informasi merupakan pengembangan sistem baru dari sistem lama yang ada, dimana masalah-masalah yang terjadi pada sistem lama diharapkan sudah teratasi

pada sistem yang baru. Secara konseptual siklus pengembangan sebuah sistem informasi adalah analisis sistem: menganalisis dan mendefinisikan masalah-masalah dan kemungkinan solusinya untuk sistem informasi dan proses organisasi; perancangan sistem: merancang output, input, struktur file, program, prosedur, perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk mendukung proses sistem informasi; pembangunan dan testing sistem: membangun perangkat lunak yang diperlukan untuk mendukung sistem dan melakukan testing secara akurat, melakukan instalasi dan testing terhadap perangkat keras dan mengoperasikan perangkat lunak; implementasi sistem: beralih dari sistem lama ke sistem baru, melakukan pelatihan dan panduan seperlunya; operasi dan perawatan: mendukung operasi sistem informasi dan melakukan perubahan atau tambahan fasilitas; evaluasi sistem: mengevaluasi sejauh mana sistem telah dibangun dan seberapa bagus sistem telah dioperasikan.

Pada perancangan kantin kejujuran, sistem digunakan oleh dua pengguna yaitu admin sebagai pengelola dan siswa sebagai pelanggan yang mengoperasikan program langsung. Admin masuk melalui menu *login* admin yang terpisah dari menu *login* pelanggan. Setelah masuk ke sistem admin dapat mengakses menu admin yang berisi manajemen barang dan pengguna, cetak laporan. Pelanggan masuk melalui halaman login pelanggan. Setelah login pelanggan dapat melakukan transaksi pembelian. Transaksi dilakukan tanpa uang karena setiap siswa mempunyai saldo yang akan dipotong sejumlah transaksi pembelian yang dilakukan di kantin kejujuran

Perancangan database, tabel admin berfungsi untuk menyimpan data admin yang dipergunakan untuk siswa dengan hak akses admin dapat masuk kedalam aplikasi. Tabel 1 untuk menyimpan data user dan admin. Tabel ini terdiri dari 5 *field* antara lain: *kd_admn*, *username_ad*, *nm_admn*, *pass_admn*.

Tabel 1 Bagian Admin

Field	type	Index
kd_admn	varchar(5)	primary key
username_ad	varchar(20)	
nm_admn	Varcha(20)	
pass_admn	varchar(20)	

Tabel 2 berfungsi untuk menyimpan data barang ke dalam aplikasi. Tabel ini terdiri dari 6 *field* antara lain: id_barang, nama_brg, harga_brg, stock.

Tabel 2. Data Barang

Field	Type	Index
Id_barang	bigint	Primary key
nama_brg	varchar(25)	
harga_brg	double	
stock	int	

Tabel 3 berfungsi untuk menyimpan data siswa ke dalam aplikasi. Tabel ini terdiri dari 7 *field* antara lain: id_siswa, username, nama_sis, password, almt_siswa, tlp_siswa dan saldo.

Tabel 3. Data Siswa

Field	type	Index
Id_siswa	varchar(5)	primary key
nama_sis	varchar(25)	
almt_siswa	varchar(15)	
tlp_siswa	varchar(15)	
saldo	int	
password	varchar(15)	
username	varchar(15)	

Tabel 4 berfungsi untuk menyimpan semua transaksi yang terjadi, tabel ini memiliki 5 *field* antara lain id_tranksi, id_siswa, tgl_nota, nama_sis dan total. Pada Tabel 5 berfungsi menyimpan data yang dibutuhkan untuk merinci transaksi secara detail, tabel ini memiliki 6 *field* antara lain id_siswa, kuantitas, total, id_barang dan id_transaksi (Kadir, 2000). Sedangkan tampilan antar muka sistem, terdiri dari tampilan yang berjudul siswa dipersilahkan untuk masuk ke sistem. Siswa login dengan menggunakan

username dan password. Tampilan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 4 Bagian Transaksi

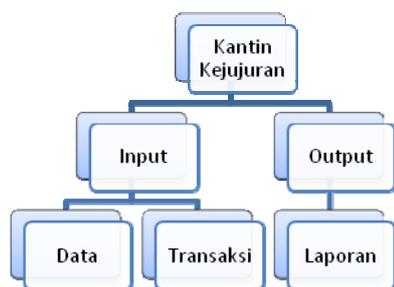
Field	Type	index
Id_tranksi	bigint	Primary key
Id_siswa	bigint	
tgl_nota	datetime	
nama_sis	varchar(25)	
total	double	

Tabel 5 Tabel detail_transaction

Field	Type	index
Id_siswa	bigint	Primary key
kuantitas	int	
total	double	
id_barang	bigint	
id_transaksi	bigint	

Gambar 3. Login Siswa

Tampilan antar muka sistem selanjutnya, yaitu Rancangan input output data berfungsi sebagai desain masukan data dan keluaran dalam bentuk laporan (Gambar 4). Rancangan input output data bertujuan sebagai acuan dalam membentuk pemodelan sistem sehingga hasil desain sistem tidak menyimpang dari ketentuan yang telah ditetapkan, demikian juga rancangan sistem untuk transaksi siswa dalam melakukan pembelian barang di kantin kejujuran ditampilkan Gambar 4. Sedangkan tampilan Pada Gambar 5 menunjukkan rancangan siswa dalam melakukan transaksi siswa dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar tersebut terdiri dari menu-menu aplikasi untuk memproses data barang yang dijual di kantin, data siswa, dan data transaksi pembelian.



Gambar 4. Desain Input Output



Gambar 5. Disain Transaksi Siswa

PEMBAHASAN

Setelah sistem analisa dirancang dan didesain secara rinci maka sistem diimplementasikan. Tujuannya adalah untuk menerapkan sistem yang telah dirancang untuk diterapkan pada keadaan sebenarnya dan dievaluasi apakah menghasilkan sistem yang baik atau sebaliknya. Dikatakan akan menghasilkan sistem yang baik jika sistem yang digunakan dapat mencapai tujuan dengan prinsip efisien dan efektif.

Admin memiliki jendela khusus yang berbeda dengan pelanggan seperti yang tampak pada Gambar 6. Tampilan gambar ini berfungsi sebagai antar muka pelanggan dalam hal ini siswa masuk ke dalam sistim komputer. Siswa yang akan membeli barang di kantin memasukkan username dan passwordnya, setelah admin mengelola maka siswa dapat melakukan transaksi kelanjutannya.

Tampilan layar dialog master barang merupakan tempat untuk memodifikasi tabel barang yang dirancang sedemikian rupa agar dapat melakukan manajemen barang seperti tambah, ubah dan hapus, seperti tampak pada Gambar 7.



Gambar 6. Tampilan Login Siswa

Pada tampilan ini admin memasukkan kode barang, nama barang, harga barang dan stock barang, yang nantinya akan diakses oleh siswa dalam transaksi penjualan. Harga barang yang sudah paten, akan membuat siswa tidak dapat mengubah harga penjualan, sehingga siswa diajak untuk berlaku jujur dalam hal ini. Stock atau persediaan barang demikian juga akan membantu atau mengontrol banyaknya barang yang masuk dan banyaknya barang yang keluar atau dijual.

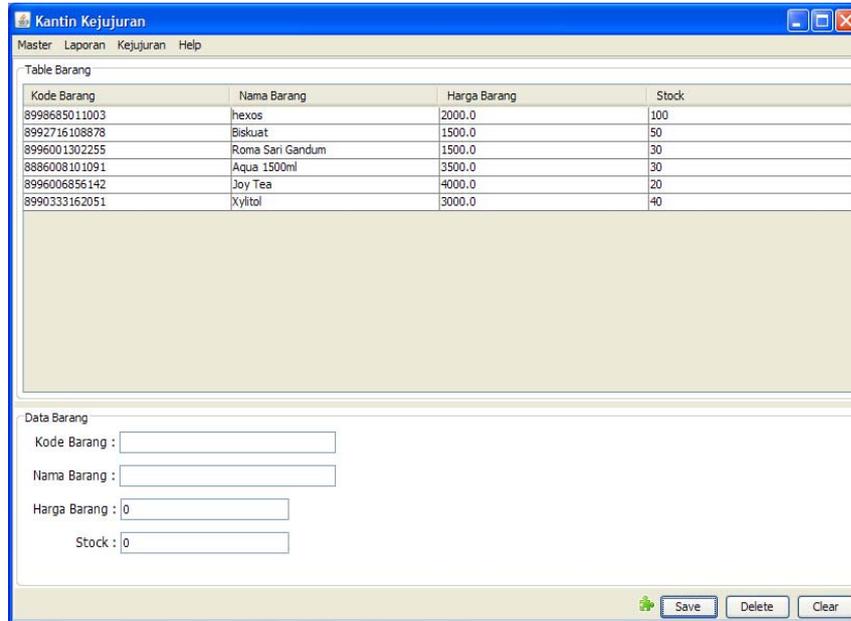
Semua data yaitu kode barang, nama barang, harga barang dan stock atau persediaan barang harus terisi dengan benar. Setiap *field* memiliki data dengan ketentuan yang berbeda-beda. *Field* nama barang dan satuan merupakan inputan *string* sedangkan harga barang dan stock membutuhkan inputan angka. Untuk mengedit data admin cukup memilih data yang akan diganti kemudian data tersebut akan secara otomatis masuk kedalam *textfield* yang sudah disediakan. Setelah diedit kemudian akan disimpan

Tampilan master siswa terlihat pada tampilan Gambar 8, siswa yang akan membeli barang di kantin, diwajibkan mengisikan data-data siswa, kelas, saldo atau uang muka yang akan digunakan untuk belanja di kantin kejujuran ini. Uang muka diinputkan dahulu ke dalam sistem dengan harapan siswa melakukan kejujuran uang muka yang disetorkan untuk belanja. Siswa juga diminta untuk memasukkan nomer telpon sehingga mudah dihubungi, sedangkan kode siswa diatur oleh admin.

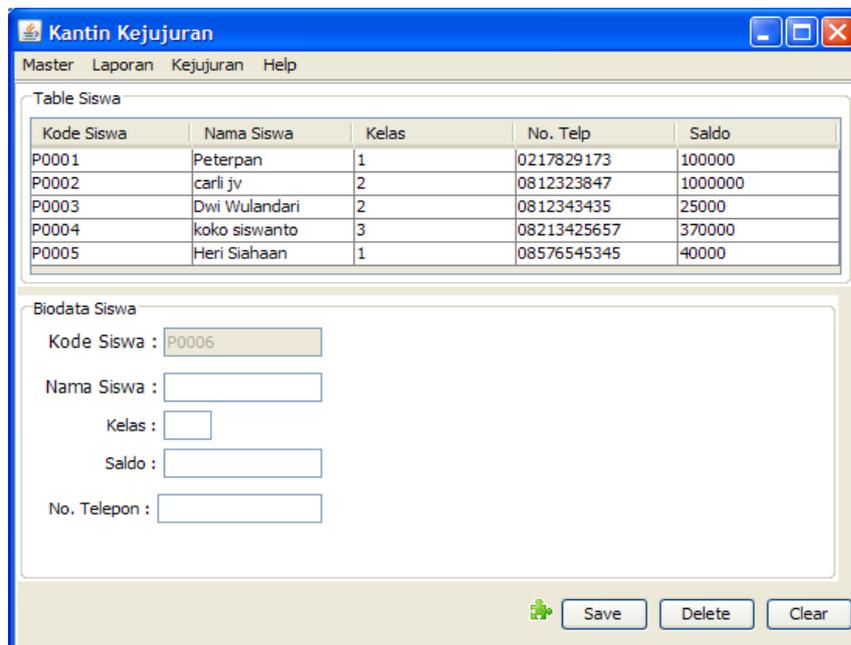
Setelah siswa mengisi nama siswa, kelas kemudian saldo uang muka

yang digunakan untuk belanja serta menuliskan nomer telpon dan melakukan Save (simpan) pada tampilan Gambar 8, maka selanjutnya akan tampil halaman transaksi yang digunakan sebagai transaksi siswa dalam pembelian di

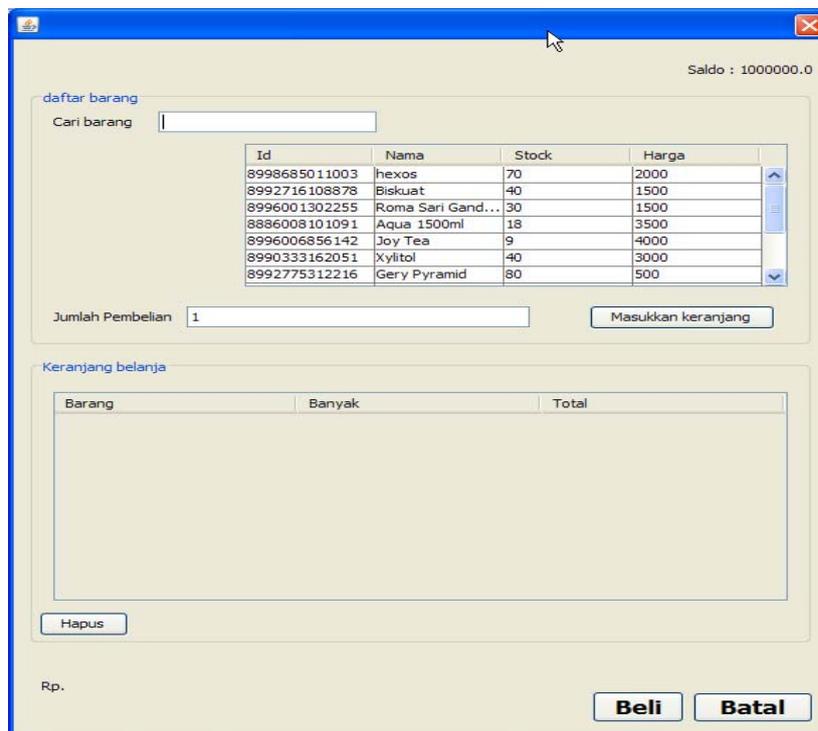
kantin kejujuran ini. Cara yang digunakan siswa mencari barang yang diinginkan kemudian memasukkan banyaknya barang yang akan dibeli. Halaman transaksi ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 7 Tampilan Master Barang



Gambar 8. Tampilan Master Siswa



Gambar 9 Tampilan Halaman Transaksi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas siswa diminta jujur dalam memasukkan nama siswa, kelas, nomer telpon dan banyaknya uang muka (saldo) yang digunakan untuk berbelanja di kantin kejujuran ini. Siswa juga diminta jujur dalam memasukkan nama barang yang dibeli dengan data yang ada dikomputer, banyaknya barang yang dibeli juga harus sama dengan pemasukan barang pembelian di keranjang belanja. Hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan, bahwa kantin kejujuran berbasis teknologi informasi dapat digunakan untuk meminimalkan tingkat ketidak jujuran dibandingkan jika menggunakan proses secara manual, dengan kantin kejujuran berbasis teknologi informasi barang dan uang hasil penjualan dapat mudah dikontrol. Pelaporan tentang banyaknya siswa yang berperan aktif terhadap program kantin kejujuran juga mudah terdeteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, A., 2000, Konsep Basis Data, Andi Offset, Yogyakarta
- Kurniawan, D., Raihan, M., dan Sukarni, 2009, Menguji Kejujuran di Kantin Kejujuran, Majalah Kuntum Yogyakarta, April 2009, 8-11
- Prasethio, A.,E., 2011, Aplikasi Kantin Kejujuran Cerdas dengan Barcode Reader, Yogyakarta, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
- <http://www.anwardjaelani.com>
- <http://www.kejari-jaksel.go.id>
- <http://id.wikipedia.com>

MODEL INTEROPERABILITAS ANTAR APLIKASI E-GOVERNMENT

Jazi Eko Istiyanto¹, Edhy Sutanta²

¹ Jurusan Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

¹ Mahasiswa Program Doktor Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Masuk: 9 Oktober 2011, revisi masuk : 18 Januari 2012, diterima: 27 Januari 2012

ABSTRACT

Interoperability between information systems is an urgent problem to be solved in the development of e-Gov in Indonesia. This is caused by the need for increasing the data multisectoral policy-making in order to solve problems involving data from the inter-related sectors. While the state government application in the current environment, are still largely sectoral, in isolation, can not communicate with each other, and heterogeneous. Interoperability between e-Gov applications become important things to be sought the solution to the problem of developing e-Gov in Indonesia are not protracted. This paper is a review of the literature reveals the development of e-Gov in Indonesia, the interoperability problems encountered, and how the model of interoperability between e-Gov built to implement a web services models.

Keywords: e-Government, interoperabilitas, model, web services.

INTISARI

Interoperabilitas antar aplikasi sistem informasi menjadi tuntutan mendesak dalam pengembangan e-Gov di Indonesia saat ini. Hal ini disebabkan oleh adanya kebutuhan data multisektoral yang semakin meningkat dalam rangka pengambilan kebijakan untuk mengatasi problem yang melibatkan data dari antar sektor terkait. Sementara kondisi aplikasi di lingkungan pemerintah saat ini, umumnya masih bersifat sektoral, terpisah-pisah, tidak dapat saling berkomunikasi, dan heterogen. Interoperabilitas antar aplikasi e-Gov menjadi hal penting yang perlu segera dicari solusinya agar problem pengembangan e-Gov di Indonesia tidak berlarut-larut. Makalah ini merupakan hasil review pustaka yang mengungkap perkembangan e-Gov di Indonesia, problem interoperabilitas yang dihadapi, dan bagaimana model interoperabilitas antar aplikasi e-Gov dapat dibangun dengan mengimplementasikan model *web services*.

Kata-kata kunci : *e-Government, interoperabilitas, model, web services.*

PENDAHULUAN

Semakin besarnya peran teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam proses bisnis membuat banyak lembaga berlomba mengimplementasikan TIK untuk proses terintegrasi. Salah satunya adalah melalui pengembangan *e-Government (e-Gov)*, di mana idealnya implementasi *e-Gov* diharapkan dapat membantu meningkatkan interaksi antara pemerintah, masyarakat, dan bisnis sehingga mendorong perkembangan politik dan ekonomi. Inisiatif tentang pengembangan *e-Gov* di Indonesia telah dikenalkan melalui Inpres No. 6 Tahun 2001, namun berdasarkan hasil evaluasi,

pengembangan *e-Gov* di Indonesia masih dijumpai banyak problem yang secara umum berpangkal dari kesalahan pandangan atau paradigma tentang *e-Gov*. Faktor teknis dan non teknis penghambat *e-Gov* juga telah diidentifikasi dalam beberapa kajian.

Interoperabilitas antar aplikasi juga menjadi tuntutan mendesak dalam pengembangan *e-Gov* di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan data multisektoral dalam rangka pengambilan kebijakan untuk mengatasi problem yang melibatkan data dari antar sektor terkait. Sementara kondisi aplikasi di lingkungan pemerintah saat ini, umumnya masih

¹jazi@ugm.ac.id,

²edhy_sst@yahoo.com

bersifat sektoral, terpisah, tidak dapat saling berkomunikasi, dan heterogen. Interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov* menjadi hal penting yang perlu segera dicari solusinya agar problem pengembangan *e-Gov* di Indonesia tidak berlarut-larut.

e-Government (e-Gov) adalah penggunaan teknologi informasi yang dapat meningkatkan hubungan antara pemerintah dan pihak-pihak lain, didalamnya melibatkan otomisasi dan komputerisasi pada prosedur *paper-based* yang akan mendorong cara baru dalam kepemimpinan, cara baru dalam mendiskusikan dan menetapkan strategi, cara baru dalam transaksi bisnis, cara baru dalam mendengarkan warga dan komunitas, serta cara baru dalam mengorganisasi dan menyampaikan informasi [Pascual, 2003]. Sementara Ahmadjayadi [2006] mengartikan *e-Gov* sebagai kegiatan yang terkait dengan upaya seluruh lembaga pemerintah dalam bekerja bersama-sama memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK), sehingga dapat menyediakan jasa layanan elektronik dan informasi yang akurat kepada individu masyarakat dan dunia usaha.

Semakin besarnya peran TIK dalam proses bisnis membuat lembaga pemerintah berlomba-lomba untuk mengimplementasikan TIK untuk proses terintegrasi. Salah satunya adalah melalui implementasi *e-Gov*, di mana idealnya implementasi *e-Gov* diharapkan dapat membantu meningkatkan interaksi antara pemerintah, masyarakat, dan bisnis sehingga mampu mendorong perkembangan politik dan ekonomi [Supangkat, 2006]. Mengacu pada Inpres No. 6 Tahun 2001 aparat pemerintah harus menggunakan teknologi telematika untuk mendukung *good governance* dan mempercepat demokrasi. Penerapan *e-Gov* di setiap lembaga pemerintah mengacu pada tahapan pengembangan *e-Gov* nasional sesuai dengan kondisi setiap lembaga pemerintah, meliputi [Inpres No. 3 Tahun 2003]: 1). Tingkat persiapan: pembuatan situs *web* di setiap lembaga pemerintah; pendidikan SDM, penyediaan sarana akses publik, sosialisasi keberadaan layanan informasi

elektronik untuk publik dan internal, pengembangan *e-leadership* dan *awareness building*, serta penyiapan peraturan. 2). Tingkat pematangan yaitu pembuatan situs informasi layanan publik interaktif; dan pembuatan *hyperlink*. 3). Tingkat pemantapan: penyediaan fasilitas transaksi elektronik; dan penyatuan aplikasi dan data dengan lembaga lain (interoperabilitas). 4). Tingkat pemanfaatan: pembuatan program layanan G2G, G2B, dan G2C terintegrasi; pengembangan proses untuk layanan *e-Gov* yang efektif dan efisien, dan penyempurnaan menuju kualitas *best practice*.

Administrasi publik adalah salah satu area di mana internet dapat digunakan untuk menyediakan akses layanan yang paling mendasar dan menyederhanakan hubungan masyarakat dan pemerintah bagi masyarakat. *e-Gov* dengan memanfaatkan layanan internet dapat dibagi dalam beberapa tingkat yaitu: penyediaan informasi, interaksi satu arah, dan interaksi dua arah dan transaksi (layanan elektronik penuh). Interaksi satu arah bisa berupa fasilitas *download* formulir yang dibutuhkan, pengumpulan formulir secara *online* merupakan contoh interaksi dua arah, sedangkan contoh layanan elektronik penuh adalah pengambilan keputusan dan proses pelayanan pembayaran [<http://dishubkominformo.belitungkab.go.id/>, 08-03-2012].

Hasil evaluasi pengembangan *e-Gov* di Indonesia menunjukkan masih dijumpai banyak problem, namun secara umum problem tersebut berpangkal dari kesalahan pada pandangan atau paradigma tentang *e-Gov* [Supangkat, 2006]. Setidaknya, terdapat delapan persepsi keliru tentang pengembangan *e-Gov* selama ini, yaitu [Nugroho, 2008]: 1). *e-Gov* adalah situs *web* lembaga pemerintah. Persepsi ini akan mereduksi makna *e-Gov*. 2). *e-Gov* adalah adanya ketersediaan infrastruktur. Infrastruktur tidaklah identik dengan *e-Gov*. Tujuan *e-Gov* adalah menumbuhkan kekuatan pemberdayaan, dan infrastruktur harus dimanfaatkan untuk tujuan yang lebih besar. 3). *e-Gov* adalah pembangunan sistem-sistem informasi. Akar

permasalahannya adalah tidak selarasnya antara sistem-sistem yang terus akan dikembangkan dengan proses-proses birokrasi yang dilakukan sehari-hari, masing-masing berjalan sendiri-sendiri, sehingga tujuan dasar sistem-sistem informasi untuk mendukung proses penyelenggaraan pemerintahan tidak optimal. 4). *e-Gov* harus dikembangkan secara bertahap karena alasan keterbatasan biaya. Keterbatasan biaya adalah kekangan, bukan alasan dasar untuk melakukan pentahapan proses pengembangan *e-Gov*. Sedangkan alasan sebenarnya adalah perbedaan tingkat kesiapan masyarakat dalam pemanfaatan adanya TIK dan kesiapan pengembangan *e-Gov*. Ketersediaan rencana jangka panjang/induk, *blueprint*, dan variasinya sangat penting sebagai *guideline* bagi pentahapan proses pengembangan *e-Gov*. 5). *e-Gov* adalah pembangunan sistem informasi di berbagai SKPD. Saat ini, integrasi informasi menjadi syarat penting bagi terselenggaranya kegiatan program pemerintahan. Keberadaan sistem informasi-sistem informasi di SKPD tidak banyak berarti jika tidak diikuti dengan integrasi antar sistem. Integrasi ini mengidentifikasi jalur akses data dan informasi antar sistem untuk memenuhi kebutuhan informasi multisektor. 6). *e-Gov* hanya memerlukan SDM TIK. Fakta menunjukkan bahwa implementasi *e-Gov* tidak akan berhasil tanpa *leadership* dan kemampuan manajerial yang baik. 7). *e-Gov* adalah mahal. *e-Gov* adalah mahal jika investasi (infrastruktur, sistem informasi, dan lainnya) tidak bisa memenuhi sasaran, sebaliknya investasi menjadi tidak berarti jika implementasi TIK mampu menumbuhkan *multiplier effect* dengan *outcome* yang jauh lebih bernilai dibandingkan investasi. 8). Sasaran *e-Gov* adalah tuntasnya implementasi TIK. TIK hanyalah alat bantu untuk mencapai tujuan yang lebih besar, yaitu peningkatan pemberdayaan masyarakat, kualitas layanan publik, transparansi, akuntabilitas, dan efisiensi penyelenggaraan pemerintahan.

Faktor penghambat implementasi *e-Gov* di Indonesia juga berhasil diidentifikasi, antara lain disebabkan oleh

[Raharjo, 2001] :1).Rendahnya komitmen pemerintah dalam integrasi dan juga transparansi publik, 2). Minimnya budaya berbagi informasi. 3). Minimnya budaya tertib dokumentasi. 4). Resistensi perubahan. 5). Kelangkaan SDM yang handal. 6). Infrastruktur belum memadai dan mahal. 7). tempat akses yang terbatas.

Ketidaktelitian pengembangan *e-Gov* di Indonesia disebabkan oleh: 1) *master plan* tidak mempunyai kekuatan formal, karena baru berupa kajian sehingga posisi strategis *e-Gov* sulit terealisasi secara optimal dan bukan merupakan kewajiban unit-unit, 2) organisasi pengambil keputusan tidak cukup kuat memastikan integrasi arsitektur, pengelolaan portofolio, dan eksekusi proyek TIK tahunan, dan 3) lemahnya koordinasi antar unit dalam rencana tahunan proyek TIK [Supangkat et. al, 2007].

Aspek non teknis, yaitu resistensi terhadap perubahan juga menghambat penerapan *e-Gov*. Problem ini terjadi karena [Indrajit, 2006]: 1). Ego sektoral lembaga masih tinggi sehingga menutup kemungkinan diatur atau bekerjasama dengan lembaga lain, 2). Anggapan bahwa sistem informasi di lembaga sendiri adalah terbaik dibanding lainnya, 3). Konteks kepentingan yang berbeda di setiap lembaga sehingga sulit dilakukan integrasi. 4).Keinginan menjadi pemimpin dalam integrasi. 5). Ketidakinginan saling membagi data dan informasi karena mengurangi keunggulan kompetitif. 6). Ketidaktahuan dari mana harus memulai integrasi sehingga kondusif untuk dilakukan sejumlah pihak terkait; dan sebagainya

Persaingan bisnis yang terus meningkat di benua Eropa di tahun 1990-an mengakibatkan banyak perusahaan melakukan integrasi antar perusahaan agar tetap bertahan dalam persaingan. Upaya integrasi ini menghadapi problem dan melahirkan konsep *enterprise interoperability*. Konsep tersebut diyakini lebih sesuai diterapkan dalam lingkungan perusahaan yang tersebar dan lebih fleksibel. Pendekatan *enterprise interoperability* memerlukan biaya relatif yang jauh lebih murah dan dapat

diimplementasikan lebih cepat [Shorter, 1997]. Pertimbangan yang mendukung pernyataan tersebut adalah: 1) integrasi melalui pemodelan perusahaan terpadu, seperti CIMOSA [Shorter, 1997], atau 2) integrasi sebagai pendekatan metodologi untuk mencapai konsistensi pengambilan keputusan pada perusahaan besar, seperti usulan metodologi GRAI [Doumeingts et al.1998].

Michel [1997] menyatakan bahwa integrasi dapat diperoleh dalam tiga hal, yakni: data (model data), organisasi (model sistem dan proses), dan juga komunikasi (model pada jaringan komputer, misal model OSI). Integrasi total hanya akan terjadi pada perangkat lunak atau sistem itu sendiri. Integrasi dapat diperoleh dengan dua cara, yaitu: 1) penyatuan dengan standarisasi (standarisasi metode, arsitektur, konstruksi, dan bagian model yang dapat digunakan kembali), atau 2) federasi (standarisasi *interface*, model referensi atau *ontologi*). Sementara Chen dan Vernadat [2004] menyatakan bahwa integrasi dapat dilakukan dengan cara berbagai cara disesuaikan dengan kepentingannya, namun pada dasarnya dapat diklasifikasikan dalam tiga tingkatan, yakni: 1) integrasi fisik (interkoneksi perangkat, mesin NC, PLC, melalui jaringan komputer), 2) integrasi aplikasi (berkaitan dengan adanya interoperabilitas *software* aplikasi dan *database* dalam lingkungan komputasi yang heterogen), dan 3) integrasi bisnis (koordinasi fungsi untuk mengelola, mengontrol, dan memonitor proses bisnis).

Terkait dengan perkembangan tentang integrasi dan interoperabilitas, pada tahun 2007 didominasi oleh pemodelan berbasis model, sedangkan tren masa depan lebih mengarah pada interoperabilitas sistem yang *loosely-coupled* dan meninggalkan solusi seragam yang memerlukan biaya tinggi dan keberhasilan integrasi yang rendah. Tantangan utama interoperabilitas sistem yang *loosely-coupled* adalah bagaimana mengembangkan model dan metodologi yang mengarah ke berbagai solusi interoperabilitas antar sistem yang diintegrasikan dengan lebih banyak

mempertimbangkan aspek kebutuhan teknologi dan semantik konsep yang akan dipertukarkan dan dipahami secara bulat oleh semua pihak Molina et.al [2007]. Area riset terkait dengan solusi kebutuhan integrasi antar sistem, terdiri atas: 1). Kolaborasi jaringan organisasi, 2). pemodelan perusahaan dan model referensi, 3). interoperabilitas model perusahaan dan proses, 4). validasi, verifikasi, kualifikasi, dan akreditasi model perusahaan, serta 5). penggunaan kembali model dan repositori [Molina et.al, 2007].

Terkait dengan interoperabilitas antar aplikasi, telah dikembangkan sebuah model integrasi B2B berbasis SOA menggunakan layanan *web services* dengan studi kasus pada aplikasi *e-shop* yang mengintegrasikan situs Amazon, eBay, Yahoo!, dan Paypal. Model ini dikembangkan untuk mengatasi problem ketidaksiharasan antara sistem bisnis dan sistem informasi yang berkembang dengan kecepatan yang berbeda-beda. Model yang akan dikembangkan membuka peluang untuk membawa definisi *service* ke level abstraksi yang lebih tinggi, berupa model level tinggi yang dapat ditransformasikan ke implementasi *services* yang bebas *platform*. Dengan pendekatan ini dapat dipisahkan antara *platform* terendah, infrastruktur, dan implementasinya, dengan harapan mampu meningkatkan integrasi. Penggunaan gabungan metode ini memungkinkan penggunaan ulang dan peningkatan integrasi pada level model yang berbeda. Metode baru berupa metode integrasi berbasis SOA yang dikembangkan dari metode SOAD dan mBPDM berhasil ditemukan dan telah diujikan untuk melakukan analisis dan perancangan integrasi berbasis SOA, serta diimplementasikan menjadi 16 proses bisnis, 18 *web service*, serta 6 aplikasi komposit [Utomo, 2011].

Penelitian lain telah berhasil mengembangkan model interoperabilitas sistem informasi layanan publik pada aplikasi *e-Gov* di Indonesia dengan studi kasus pada proses Sistem Informasi Kependudukan dan Perpajakan. Pada penelitian dilakukan untuk mengatasi problem kurangnya perhatian setiap

instansi pemerintah untuk berbagi akses data dan informasi, serta belum adanya model interoperabilitas antar sistem informasi yang secara eksplisit dijelaskan dalam Inpres No. 3 Tahun 2003 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan e-Gov, maupun pada *blueprint* aplikasi e-Gov. Model interoperabilitas yang dikembangkan berdasarkan model *web services* dengan metode REST. Kebutuhan akan adanya interoperabilitas antar sistem informasi dipetakan berdasarkan keterkaitan antar skema *database* dengan menggunakan model *web services*, sehingga diperoleh model interoperabilitas antara dua sistem. Perancangan metode REST dilakukan menggunakan ROA yaitu model arsitektur yang berorientasi sumber daya informasi. Implementasi model interoperabilitas antar dua sistem informasi dilakukan menggunakan bahasa PHP dan *database* MySQL. Pengujian dilakukan melalui pengambilan data antar kedua sistem yang memiliki perbedaan *platform database* dan terletak pada lokasi fisik yang berbeda [Sukyadi, 2009].

Web services adalah sebuah *software* sistem yang dirancang untuk mendukung interoperabilitas interaksi mesin-ke-mesin melalui sebuah jaringan [WWW Consorsium, 2004]. *Web services* secara teknis memiliki mekanisme penunjang interoperabilitas antar aplikasi dengan melakukan interaksi antar aplikasi, baik yang berupa agregasi (pengumpulan) maupun adanya sindikasi (penyatuan). *Web services* juga memiliki layanan terbuka untuk kepentingan integrasi data dan kolaborasi informasi yang bisa diakses melalui internet oleh berbagai pihak melalui teknologi yang dimiliki masing-masing pengguna.

Sekalipun mirip dengan proses *Application Programming Interface* (API) berbasis *web*, *web services* memiliki keunggulan karena dapat dipanggil dari jarak jauh melalui internet, pemanggilan *web services* bisa menggunakan bahasa pemrograman apa saja, dan dalam *platform* apa saja, sementara API hanya bisa digunakan untuk *platform* tertentu [Lucky, 2008]. *Web services* dapat dipahami sebagai *Remote Procedure*

Call (RPC) yang mampu memproses fungsi-fungsi program yang didefinisikan pada sebuah aplikasi *web* dan mengekspos sebuah API atau *User Interface* (UI) melalui *web*. Kelebihan penggunaan *web services* adalah: 1) lintas *platform*, 2). *language independent*, 3). jembatan penghubung dengan *database* tanpa perlu *driver database* dan tidak perlu tahu jenis DBMS, 4). mempermudah proses pertukaran data, dan 5). penggunaan kembali komponen aplikasi [Lucky, 2008]. Layanan fungsional *web services* dilakukan dalam empat langkah kegiatan, 3 diantaranya dilakukan oleh *web services*, yaitu: 1). entitas pengguna (*requester entity*), 2). entitas penyedia (*provider entity*), dan 3). entitas perantara (*discovery entity*) [Sukyadi, 2009].

Berdasarkan konsep hubungan dan penyampaian informasi, *web services* dikembangkan melalui 4 model arsitektur, masing-masing memiliki orientasi pada *message*, *action*, *resource*, dan *policy*. Pengembangan model yang diturunkan berdasarkan orientasi pada *action* (*Service Oriented Model/SOM*) menghasilkan *Services Oriented Architecture* (SOA), yaitu model arsitektur berbasis layanan. Sementara pengembangan model yang diturunkan berdasarkan orientasi pada *resource* (*Resource Oriented Model/ROM*) yang menghasilkan adanya *Resource Oriented Architecture* (ROA), yaitu model arsitektur berbasis sumberdaya informasi [Sukyadi, 2009]. Dalam proses perkembangannya, model *web services* memiliki dua metode yang berorientasi pada layanan dan sumberdaya informasi, yaitu: SOAP (*Simple Object Access Protocol*) dan REST (*REpresentational State Transfer*). Implementasi *web services* model SOA telah banyak dilakukan dan dikembangkan oleh banyak *vendor*, seperti Microsoft, Sun dan IBM, melalui dukungan *platform* infrastruktur *dotNet* dan Java. Arsitektur SOAP memiliki tiga komponen utama dalam melakukan proses layanan yaitu: 1) *service provider*, 2) *service requester*, dan 3) *service broker*, serta komponen pendukung yaitu: 1). XML, 2) SOAP-XML (terdiri atas *header* dan *body*), 3). WSDL,

serta 4). UDDI [DSIPLK, 2008]. Metode REST diusulkan oleh Fielding [2000] dengan didasari oleh empat prinsip utama teknologi, yaitu: 1). *Resource identifier through Uniform Resource Identifier* (URI), 2). *uniform interface* (sumberdaya CRUD menggunakan operasi-operasi PUT, GET, POST, dan DELETE), 3). *self-descriptive messages* (sumberdaya tidak terikat sehingga dapat mengakses konten HTML, XML, PDF, JPEG, plain text, meta data, dll), serta 4). *stateful interactions through hyperlinks* (bersifat *stateless*) [Pautasso, 2008]. Metode REST lebih sederhana karena menggunakan format standar (HTTP, HTML, XML, URI, MIME), namun jika diperlukan proses pengambilan data, maka konten berupa teks dari hasil eksekusi *web services* dapat diolah dalam format teks seperti XML atau HTML dengan menggunakan utilitas komunikasi data melalui koneksi *socket* protokol HTTP. Utilitas ini umumnya tersedia dalam pustaka komunikasi pada bahasa pemrograman seperti Java, Visual Basic, Delphi, PHP, ASP, maupun JSP [Sukyadi, 2009].

Perbedaan mekanisme pada metode proses SOAP dan REST adalah [Sukyadi, 2009]: 1). *Protocol layering* dimana metode REST menganggap penggunaan protokol HTTP sebagai *application-level protocol*, sedangkan pada SOAP menganggap penggunaan protokol, khususnya HTTP sebagai *transport-level protocol*. 2). *Dealing with heterogeneity* metode SOAP dan REST memiliki kesamaan dalam penanganan keragaman komponen pada protokol HTTP, namun berbeda dalam dukungan antar *vendor* aplikasi *browser* dan *enterprise computing*. 3). *Loose coupling* dalam aspek *time/availability* dan *location transparency*, metode REST dan SOAP memiliki kecenderungan menjadi *loose coupling* (bebas ketergantungan akses), namun dalam aspek *service evolution*, metode REST memiliki *loose coupling* yang lebih tinggi daripada SOAP. Metode REST menggunakan format URI yang bebas dari bentuk format deskripsi, sedangkan dalam metode SOAP, perubahan yang terjadi dalam struktur fungsi *web services* akan mempengaruhi

deskripsi *web services* di dalam WSDL, sehingga WSDL harus dirubah untuk menyamakan struktur dan tipe datanya. Akibatnya metode SOAP lebih kompleks dalam pengembangannya, sementara REST dapat dilakukan lebih cepat dan sederhana.

Implementasi SOA dalam e-Gov memungkinkan *sharing* informasi dapat dilakukan tanpa memberi hak akses secara langsung ke *database* bagi pihak yang mengaksesnya. Pengakses informasi pada aplikasi e-Gov di instansi pemerintah lain dapat menggunakan *service* yang disediakan oleh aplikasi e-Gov yang mendukung konsep-konsep interoperabilitas. Secara teknis SOA memisahkan antara pesan/*query/call* dengan bagian pengolahan *database*, sehingga wilayah privat dan publik dapat terpisah secara tegas. Bagian privat hanya dapat diakses oleh bagian penanggungjawabnya, sementara bagian publik dapat diakses oleh siapa pun melalui *service* yang disediakan. Agar pesan/*query/call* dapat digunakan oleh pengguna lain, maka harus disusun berdasarkan standar tertentu tanpa bergantung pada produk TIK tertentu [<http://arvantc40s.blogspot.com/2012/02/interoperabilitas-data-dalam-e.html>, 08-03-2012].

Sebagai contoh implementasi SOA, *database* kependudukan di Indonesia merupakan tanggungjawab Dinas Dukcapil dan dapat menyediakan *service* ke publik berupa informasi data *series* jumlah penduduk berdasarkan pendidikan, pekerjaan, dan lainnya. Sedangkan untuk pengguna lembaga pemerintah, *service* dapat diperluas dengan pemberian informasi yang lebih lengkap seperti nama, alamat, tanggal lahir, status dan lainnya, sehingga Dinas Kesehatan misalnya, dapat dengan memanfaatkannya untuk membangun informasi kesehatan bagi berbagai kepentingan. Melalui *sharing* informasi tersebut, data pokok (misal biodata penduduk) dapat dilengkapi dengan berbagai atribut yang dibutuhkan dalam sistem lain. Misal, seseorang dengan Nomor Induk Kependudukan (NIK) tertentu, dapat dilengkapi dengan atribut data kesehatan di Dinas Kesehatan,

dilengkapi dengan atribut data pendidikan di bagian Dinas Pendidikan, dilengkapi dengan atribut data kepemilikan barang di Dinas Pajak. Pada akhirnya, pemerintah akan memiliki data yang sangat lengkap tentang setiap penduduk Indonesia.

Interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov* lahir akibat meningkatnya kebutuhan informasi multisektor, sementara di sisi lain ada tuntutan independensi dan *loose coupling* antar aplikasi. Secara logika dimungkinkan membangun satu aplikasi *e-Gov* yang mampu menampung semua data negara, namun secara fisik hal ini sulit diterapkan. Struktur pemerintahan Indonesia (pusat dan daerah) disusun atas beberapa sektor untuk tujuan profesionalisme. Untuk itu setiap instansi diharapkan membangun aplikasi *e-Gov* sesuai wilayah kerjanya, namun harus dibarengi dengan semangat *sharing* informasi ke publik dan antar lembaga, sehingga pengembangan *e-Gov* dapat dilaksanakan sesuai dengan konsep yang benar yaitu mampu memberikan layanan elektronik penuh pada tiga ranah, yaitu G2G, G2B, dan G2C.

METODE

Makalah ini merupakan hasil review kritis atas pustaka yang relevan mengungkap perkembangan *e-Gov* di Indonesia, problem interoperabilitas, dan bagaimana model interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov* dapat dibangun dengan mengimplementasikan pada model *web services*. Model interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov* ditunjukkan dengan memanfaatkan model *web services* yang meliputi: model pemetaan proses pengambilan data antar aplikasi *e-Gov*; proses akses data menggunakan fungsi *remote* untuk pengambilan data antar aplikasi *e-Gov*; model infrastruktur interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov*, serta implementasi pada model interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov*.

PEMBAHASAN

Kebijakan pemerintah Indonesia tentang *blueprint* aplikasi *e-Gov* yang menggambarkan blok-blok fungsi-fungsi layanan, administrasi, dan kelembagaan yang disusun menjadi sebuah bagan

fungsi yang disebut Kerangka Fungsional Sistem Pemerintahan [Direktorat *e-Gov*, 2004]. Kerangka Fungsi Sistem Pemerintahan tersebut terdiri atas empat kelompok dinas dan lembaga, yaitu: 1). pemerintahan (meliputi pengelolaan barang daerah, katalog barang daerah, pendapatan daerah, perusahaan daerah; 2). kewilayahan (meliputi tata ruang dan lingkungan hidup; potensi daerah; kehutanan; pertanian, peternakan, perkebunan; perikanan dan kelautan; pertambangan dan energi; pariwisata, IKM); 3). kemasyarakatan (meliputi kesehatan, pendidikan, industri dan perdagangan, jaring pengaman sosial); serta 4) sarana dan prasarana (meliputi transportasi, jalan, jembatan, terminal, pelabuhan, sarana umum) [Direktorat *e-Gov*, 2004].

Dalam Kerangka Fungsional Sistem Pemerintahan, aplikasi *e-Gov* disusun dan dikelompokkan berdasarkan fungsi dan layanannya menjadi sebuah sistem kerangka arsitektur yang disebut Peta Solusi Aplikasi *e-Gov*. Aplikasi diklasifikasikan dengan pendekatan matrik orientasi fungsi layanan dan sifat fungsi aplikasi yang meliputi: 1) aplikasi layanan ke pengguna (*front office*), 2) aplikasi untuk pekerjaan administrasi pemerintahan dan fungsi-fungsi kedinasan/kelembagaan (*back office*), dan 3) kelompok aplikasi yang bersifat mendasar/umum (*back office*). Masing-masing kelompok aplikasi tersebut, dibagi ke dalam tiga sub kelompok berdasarkan orientasi pengguna yang dilayaninya, yaitu: 1) aplikasi pada *Government to Citizen* (G2C), 2) *Government to Business* (G2B), dan *Government to Government* (G2G). Sedangkan standar kebutuhan untuk mengembangkan sebuah aplikasi *e-Gov* adalah: 1) *reliable*, 2) *interoperable*, 3) *scalable*, 4) *user friendly*, serta 5) *integrateable* [Direktorat *e-Gov*, 2004].

Interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov* merupakan tuntutan yang semakin mendesak sebagai akibat dari adanya: 1) kebutuhan untuk melakukan pertukaran informasi secara cepat dan akurat, 2) kebutuhan untuk *upgrade* dan migrasi *software*, dan 3) kebutuhan data pada multisektoral [Nugroho, 2008]. Proses

pemenuhan kebutuhan data-data pada multisektoral, setidaknya menghadapi tiga masalah, yaitu: 1). Masalah utama pada format data, 2). Masalah mekanisme pertukaran, dan 3). Masalah karena tidak semua instansi bersedia membuka detail internal aplikasinya ke pihak lain, dengan alasan keamanan data [Nugroho, 2008]. Aspek yang terkait dengan problem interoperabilitas adalah Miller [2000]: 1). Teknik, meliputi standar komunikasi, pemindahan, penyimpanan, dan penyajian data; 2). Semantik, yakni standar penggunaan istilah untuk indeks dan temu kembali; 3). Politis/manusia, yakni keputusan untuk berbagi dan bekerjasama; 4). Interkomunitas, yakni kesepakatan berhimpun antar lembaga dan disiplin ilmu; 5). Legal, terkait dengan peraturan akses koleksi digital dan peraturan HAKI; 6). Standar internasional, yaitu standar yang memungkinkan kerjasama internasional.

Kesulitan interoperabilitas antar aplikasi e-Gov juga diakibatkan oleh: 1). tidak dimilikinya dokumentasi sistem, 2). belum tersedianya kamus data (*data dictionary*) yang jelas, 3). Adanya perbedaan persepsi tentang konsep interoperabilitas, 4). Belum dikenalnya interoperabilitas sistem informasi, 5). Belum merasa membutuhkan adanya interoperabilitas sistem informasi, serta 6). belum menyadari perlunya *sharing data* <http://arvantc40s.blogspot.com/2012/02/interoperabilitas-data-dalam-e.html>, [08 Maret 2012].

Sedangkan Setyantana [2009] menyatakan bahwa adanya problem interoperabilitas antar aplikasi e-Gov di Indonesia adalah terdapat banyak aplikasi yang dikembangkan secara terpisah dan tidak terintegrasi, bahkan banyak yang akan dikembangkan tidak menggunakan metode sistem *database* (RDBMS), sehingga sulit diintegrasikan dengan sistem lain. Sistem juga dikembangkan dengan teknologi tertutup yang berbeda, seperti FoxPro, dBase, Visual Basic, Delphi, PowerBuilder Terhadap problem tersebut, Setyantana [2009] menyampaikan usulan solusi sebagai berikut: 1). Perlu solusi untuk pertukaran data dan informasi antar sistem. 2). Solusi berarsitektur terbuka

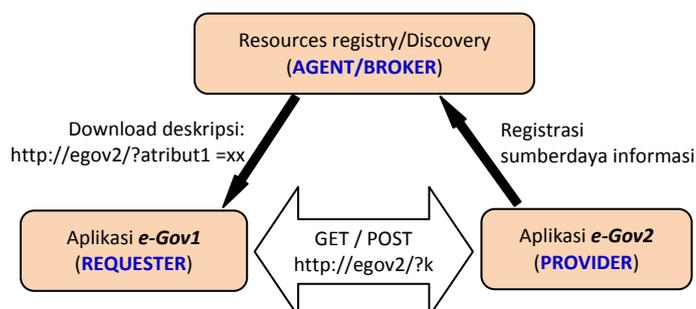
dan memungkinkan interoperabilitas. 3). Lebih diutamakan memakai OSS. 4). Setiap wali data menyediakan data yang dibutuhkan lembaga lain. 5). Perlu ada kebijakan agar aplikasi yang dibangun oleh satu lembaga yang siap berinteroperabilitas dengan aplikasi di lembaga lain (dengan menyediakan *service*).

Interoperabilitas antar aplikasi e-Gov tidak sekedar untuk dipahami sebagai persiapan oleh suatu lembaga sentral yang bekerja memfasilitasi, mendiktekan spesifikasi, dan proses baku. Namun, interoperabilitas harus merupakan konsensus implementasi bersama kerangka kerja (*framework*) yang telah ditetapkan, dan setiap lembaga tetap berwenang membuat keputusan terkait pemilihan *hardware* dan *software* yang digunakan. Tujuan akhir yang ingin dicapai dari solusi interoperabilitas antar aplikasi e-Gov adalah terbentuknya Sistem Informasi yang terintegrasi dan dapat saling berkomunikasi.

Mengacu pada konsep-konsep interoperabilitas menggunakan *web services*, maka aplikasi-aplikasi yang akan dikomunikasikan dapat dipetakan berdasarkan fungsi dan perannya dalam proses pertukaran data. Pertukaran data ini akan melibatkan tiga entitas, yaitu: 1). *Provider entity* sebagai penyedia sumber daya data dan informasi, 2). *requester entity* sebagai pengakses sumber daya informasi. 3). *Agent/broker* yang akan bertugas mengelola dan menyediakan fasilitas untuk registrasi, publikasi, dan penemuan sumber daya informasi. *Agent/broker* dapat disediakan oleh *provider* atau pihak lain yang memiliki fasilitas layanan publik yang sudah tersosialisasi dan diketahui oleh publik. Dengan mengacu pada model yang dikembangkan oleh Sukyadi [2009], pemetaan *web services* yang akan menggambarkan model interoperabilitas pada proses pengambilan data dari dua aplikasi e-Gov, yaitu e-Gov1 ke e-Gov2 ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam Gambar 1, mekanisme akses data dari e-Gov1 ke e-Gov2 dilakukan melalui fungsi *web services* yang dipublikasikan, jadi tidak langsung mengakses ke *database*

dalam aplikasi yang diakses, sehingga proses pertukaran data aman dilakukan. Mekanisme tersebut juga tidak

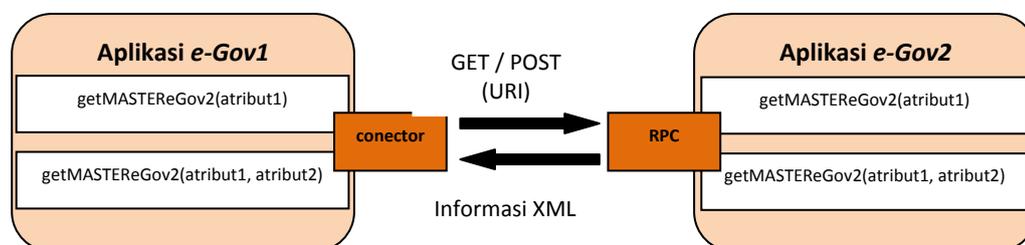
mengharuskan pengguna mengetahui *platform (engine driver)* pada *database* yang diakses.



Gambar 1: Pemetaan *web services* proses pengambilan data dari *e-Gov1* ke *e-Gov2*

Keunggulan REST yang telah menggunakan format URI sehingga bebas dari bentuk format deskripsi, dapat mempercepat proses pengembangan dan lebih sederhana dibandingkan dengan metode SOAP. Karena itu, metode REST akan digunakan sebagai metode proses dalam *web service* untuk interoperabilitas antar aplikasi *e-Gov*. Kasus kebutuhan akses data dibedakan menjadi 2, yaitu proses mengambil satu data dan proses mengambil sekelompok

data secara kolektif. Dengan menggunakan model pada Gambar 1, kedua proses akses data dapat dilakukan melalui *web services* pada aplikasi *e-Gov1* dengan menyediakan fungsi *remote* untuk mengambil satu data pada *atribut1* disebut **getMASTEReGov2** dan fungsi *remote* untuk mengambil sekelompok data pada *atribut1* dan *atribut2* disebut **getMASTERSGov2**. Mekanisme untuk masing-masing proses diilustrasikan pada Gambar 2.



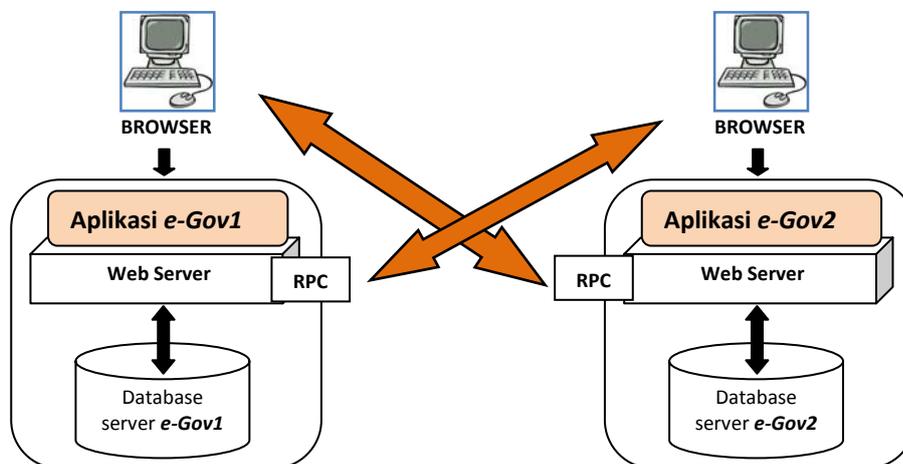
Gambar 2: Mekanisme pengambilan data dari *e-Gov1* ke *e-Gov2* dengan metode REST

Hubungan secara fisik mekanisme proses pertukaran antara aplikasi *e-Gov1* dan *e-Gov2* melalui *web services* dapat diperjelas menggunakan model infrastruktur *web services*. Model ini menjelaskan bahwa setiap aplikasi memiliki sumberdaya informasi yang bersifat publik dan dapat diakses oleh aplikasi lain yang membutuhkan. Setiap ada *request* data dari aplikasi lain melalui *web services*, maka *web services* dalam aplikasi *provider* akan melakukan pengolahan ke *database* internal. Fungsi-fungsi layanan tersebut dapat berada dalam aplikasi atau diletakkan dalam

modul lain sehingga dapat dipakai secara bersama. Pendekatan yang dilakukan bisa melalui proses eksekusi fungsi secara langsung yang dilewatkan melalui parameter URI (dengan mencantumkan nama fungsi yang akan diproses). Alternatif lain adalah proses eksekusi fungsi secara tidak langsung melalui proses interpretasi fungsi ke dalam nama umum, sehingga pada saat nama umum fungsi dilewatkan melalui parameter URI akan diterjemahkan dahulu ke dalam daftar nama fungsi yang bersifat internal. Cara kedua ini biasa digunakan untuk menjaga keamanan data dari akses

pihak luar yang ingin mengakses secara langsung ke dalam fungsi-fungsi internal. Pada Gambar 3 menampilkan model

infrastruktur interoperabilitas antara aplikasi e-Gov1 dan e-Gov2.



Gambar 3: Model infrastruktur interoperabilitas antara aplikasi e-Gov1 dan e-Gov2

Rancangan model interoperabilitas antar aplikasi e-Gov yang menggunakan model arsitektur *web services* menggunakan metode REST, terdiri dari tiga rancangan yaitu Rancangan *provider*, Rancangan *agent/broker* dan Rancangan *requester*.

Rancangan *provider*, meliputi:

- 1). Menentukan fungsi sumberdaya informasi publik yang meliputi: Membuka koneksi *database*. Jika koneksi berhasil, lakukan akses data sesuai kriteria dan kembalikan nilai fungsi dalam *array*. Jika koneksi gagal, kembalikan nilai fungsi dengan nilai *false*.
- 2). Menentukan nama sumberdaya informasi publik pada *web services*, yaitu struktur format parameter URI acuan sebagai deskripsi *web application description language (WADL)*, dengan parameter: a) *resource*, b) format input (XML atau TXT), c) format output (XML, TXT, atau HTML), dan d) data input.
- 3). Membuat *script* program aplikasi *web services* (sebagai RPC) untuk mengolah *request* parameter URI (WADL) yang dikirim oleh *requester* agar dapat melakukan validasi dan memberikan hasil sesuai kriteria yang diminta melalui pemetaan parameter *resource* terhadap nama fungsi internal. Langkahnya sebagai berikut: a). Menentukan *absolute path* berkas *web services* sebagai basis *path*. b).

Menggabungkan modul fungsi yang terkait ke dalam program. c). Mengecek kelengkapan struktur parameter URI. d). Jika parameter lengkap, petakan nama *resource* ke dalam nama fungsi, konversi format data input ke dalam variabel untuk parameter fungsi, jika fungsi ditemukan jalankan fungsi dengan input parameter, kembalikan hasil fungsi ke dalam variabel hasil, konversikan nilai variabel hasil jika berupa format XML atau HTML e.) Jika parameter tidak lengkap, yaitu nama *resource* tidak dapat dipetakan ke dalam fungsi, fungsi tidak ditemukan, atau tidak ada hasil proses fungsi, maka isi variabel hasil dengan pesan kesalahan. f). Tampilkan nilai variabel hasil sebagai *script* yang akan diolah oleh *web server*

Rancangan *agent/broker*, yaitu menyediakan aplikasi *web services* untuk proses registrasi (*registry*) dan penemuan kembali (*discovery*) untuk memudahkan pengelolaan dan pencarian layanan dengan cara melakukan pencatatan dalam *database*, langkahnya:

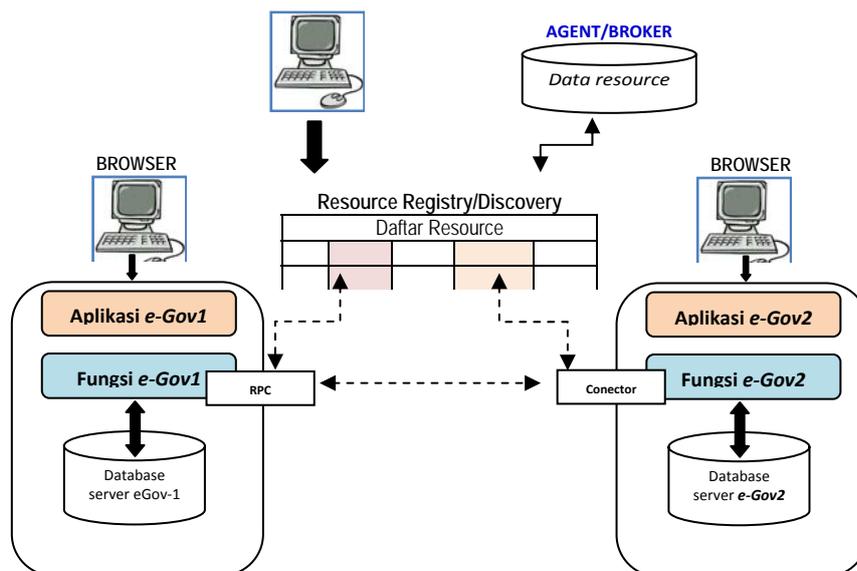
- 1). Membuat struktur *database* untuk *registry/discovery* layanan publik.
- 2). Membuat aplikasi *web server* untuk registrasi *provider* dan *service*.
- 3). Membuat aplikasi *web server* yang bersifat publik dan modul registrasi untuk

mendapatkan kunci akses publik bagi *requester*

Rancangan *requester*, *requester* dapat menggunakan fungsi layanan setelah memperoleh perintah URL pada *browser* di *client*. Jika hasil dari fungsi layanan akan digunakan sebagai sumber data hasil pengolahan, maka perintah

tersebut perlu dimasukkan ke dalam kode program *requester* melalui fungsi komunikasi dalam bahasa pemrograman (*socket*) atau pengolahan file jarak jauh (PHP, ASP, JSP).

Ilustrasi implementasi pada model interoperabilitas antar aplikasi e-Gov tampak di Gambar 4.



Gambar 4: Implementasi rancangan model interoperabilitas antara e-Gov1 dan e-Gov2

KESIMPULAN

Pemodelan interoperabilitas antar aplikasi e-Gov yang berbeda dapat dikembangkan melalui cara pemanfaatan teknologi *web services*. Pemanfaatan teknologi *web services* dalam pertukaran data antar dua aplikasi e-Gov mampu menunjukkan prinsip interoperabilitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Drs. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, Ph.D. yang secara inspiratif mampu memotivasi penulis untuk terus belajar tentang "interoperabilitas".

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadjayadi, C., 2006, *Standarisasi Menuju Interoperabilitas e-Government*, makalah keynote speech pada Workshop Standarisasi Menuju Interoperabilitas e-Government, Jakarta.

Chen, D., dan Vernadat, F., 2004, *Standards on Enterprise Integration and Engineering-A State of the Art*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 17(3), pp.235-253.

Direktorat e-Government, Depkominfo, 2004, *Blueprint Sistem Aplikasi e-Government*, Jakarta.

Doumeings, G., Vallespir, B., and Chen, D., 1998, *GRAI GridDecisional Modelling*, in *Handbook on Architectures of Information Systems*, Second Edition, Peter Bernus, Kai Mertins and Günter Schmidt (Editors), pp. 321-346, Springer Berlin Heidelberg,.

DSIPLK (Direktorat Sistem Informasi, Perangkat Lunak & Konten), Depkominfo, 2008, *Kerangka Acuan & Pedoman Interoperabilitas Sistem Informasi Instansi Pemerintahan*, Jakarta.

- Fielding R.T., 2000, *Architectureal Style & Design of Network-Based Software Architectures*, Ph.D. Thesis, Department of Information & Computer Science, University of California, Irvine.
- Indrajit, R.E., 2006, *Evolusi Strategi Integrasi Sistem Informasi Ragam Institusi, Kiat Memecahkan Permasalahan Politis dalam Kerangka Manajemen Perubahan*, Prosiding KNTIK untuk Indonesia dipresentasikan tanggal 3-4 Mei 2006, ITB, Bandung.
- Inpres No. 3 Tahun 2003, *Kebijakan & Strategi Nasional Pengembangan E-Government*, Jakarta.
- Inpres No. 6 Tahun 2001, *Telematika (Telekomunikasi, Media dan Informatika)*, Jakarta.
- Lucky, 2008, *XML Web services: Aplikasi Desktop, Internet & Handphone*, Jasakom.
- Michel, J.J., 1997, *Manufacturing, Modelling and Integration*, Presentation at a meeting of the Computer Department at CETIM (slides).
- Miller, P., 2000, *Interoperability: What is it and Why should I want it?*, <http://www.ariadne.ac.uk/issue24/interoperability/>, diakses: 05-03-2012.
- Molina, A., Panetto, H., Chen, D., Whitman, L., Chapurlat, V., Vernadat, F.B., 2007, *Enterprise Integration and Networking: Challenges and Trends*, Studies in Informatics and Control, 16/4, Informatics and Control Publications, December 2007.
- Nugroho, L.E., 2008, *Interoperabilitas*, Modul Kuliah MTI-UGM, Yogyakarta.
- Pascual, P.J., 2003, *e-Government*, e-Asean Task Force UNDP- APDIP, May 2003.
- Pautasso, 2008, C., 2008, *REST vs SOAP Making the Right Architectural Decision*, SOA Symposium, Amsterdam
- Raharjo, B., 2001, *Membangun e-Government*, ITB, Bandung.
- Setyantana, P., 2009, *Interoperabilitas Sistem Informasi*, Makalah dipresentasikan dalam Pelatihan oleh Direktorat Sistem Informasi Perangkat Lunak & Konten, Direktorat Jenderal Aplikasi Telematika, Depkominfo RI, tanggal: 27/28-05-2009, Sragen.
- Shorter, D.N., 1997, *Requirements for Enterprise Model Execution and Integration Services*, in: Kosanke, K. & Nell, J.G. (Eds.) *Enterprise Engineering & Integration: Building International Consensus*, pp. 235-243, Springer-Verlag, Berlin.
- Sukyadi, D., 2009, *Model Interoperabilitas Sistem Informasi Layanan Publik Studi Kasus: e-Government*, Karya Akhir, Prodi Magister Teknologi Informasi, Fasilkom, UI, Jakarta.
- Supangkat, S.H., 2006, *Framework Strategi Implementasi E-Government*, Prosiding Konferensi Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi untuk Indonesia, ITB, 3-4 Mei 2006.
- Supangkat, S.H., Sembiring, J., dan Rahmad, B., 2007, *IT Governance Nasional: Urgensi dan Kerangka Konstruksi*, makalah Pertemuan Dewan TIK Nasional, 8-01-2007.
- Utomo, W.H., 2011, *Integrasi B2B Berbasis SOA Menggunakan Web services*, Disertasi Program Doktor Ilmu Komputer, UGM, Yogyakarta.
- WWW Consorsium, 2004, *Web services Architectures*, <http://www.w3.org/TR/ws-arch/#whatis>, diakses: 08-03-2012.
-, 2012, *Interoperabilitas Data Dalam e-Government* <http://arvantc40s.blogspot.com/2012/02/interoperabilitas-data-dalam-e.html>, diakses: 08-03-2012.
-, <http://dishubkominfo.belitungkab.go.id/>, diakses: 08-03-2012.

PERANCANGAN MODEL PENGUKURAN KINERJA *CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY* PADA PENGEMBANGAN BISNIS UKM PADA PT.YTL JAWA TIMUR

Eko Nurmianto¹, Naning Aranti Wessiani², Maidatul Munawaroh³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Masuk: 28 Nopember 2011, revisi masuk : 19 Januari 2012, diterima: 27 Januari 2012

ABSTRACT

Sustainable CSR in SME business development within industry is as an important challenge which could not be postponed. Performance measurement method of Performance Prism used to measure the Performance of CSR on SME business development at PT.YTL Jawa Timur. Performance Prism is one of an integrated methods which consist of all aspects,i.e; stakeholder satisfaction, contribution, strategy, process and capability. Performance measurement design is also supported by several method such as Analytic Hierarchy Process (AHP), scoring system with Objective Matrix (OMAX) and Traffic Light System (TLS). The design of CSR Performance measurement in SME business development at PT YTL Jawa Timur with Performance Prism resulted in 37 key Performance indicator (KPI), among others 13 KPI on stakeholder community, 10 KPI on stakeholder KLUCIL, 8 KPI on stakeholder instruktur and 6 KPI on stakeholder regulator. From the calculating of Performance measurement using OMAX represent that Performance of CSR in SME business development is 6.72 which means that CSR Performance on SME business development has not optimal yet.

Keywords : Corporate Social Responsibility, Performance Prism, Performance measurement, stakeholder of CSR,AHP, OMAX, SME

INTISARI

Corporate Social Responsibility (CSR) pada pengembangan bisnis UKM yang sifatnya berkelanjutan merupakan sebuah tantangan industri bagi perusahaan yang penting dan tidak dapat ditunda. Metode pengukuran kinerja Performance Prism digunakan untuk mengukur kinerja CSR pada pengembangan bisnis UKM dari PT YTL Jawa Timur. Metode Performance Prism merupakan salah satu metode pengukuran kinerja yang terintegrasi, meliputi seluruh aspek stakeholder yaitu stakeholder satisfaction, contribution, strategy, process dan capability. Model pengukuran kinerja ini didukung dengan beberapa metode antara lain Analytical Hierarchy Process (AHP), scoring system dengan metode Objective Matrix (OMAX) dan Traffic Light Systems (TLS). Hasil perancangan pengukuran kinerja CSR pada pengembangan bisnis UKM dari PT.YTL Jawa Timur dengan Performance Prism menghasilkan 37 KPI antara lain 13 KPI pada stakeholder masyarakat, 10 KPI pada stakeholder Klucil, 8 KPI pada stakeholder instruktur dan 6 KPI pada stakeholder regulator. Dari perhitungan pengukuran kinerja dengan menggunakan OMAX diperoleh kinerja CSR pada pengembangan bisnis UKM sebesar 6.72 yang berarti kinerja CSR PT.YTL Jawa Timur belum optimal.

Kata kunci : Corporate Social Responsibility, Performance Prism, pengukuran kinerja, stakeholder CSR, AHP, OMAX, pengembangan bisnis UKM.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara berkembang di dunia yang peduli terhadap pembangunan lingkungan hidup. Dalam operasionalnya telah lahir

beberapa peraturan yang mengatur tentang hal tersebut antara lain : peraturan menteri BUMN tahun 2003 yang menyatakan bahwa setiap BUMN wajib menyisihkan 1-3% dari laba bersih untuk pe-

¹ nurmi@sby.centrin.net.id

laksanaan CSR yang diimplementasikan pada Program Kemitraan dan Bina Lingkungan (PKBL). Peraturan tersebut merupakan operasionalisasi dari UU lingkungan hidup yaitu UU no 23 tahun 1997. Kemudian PP No 27 tahun 1999 tentang AMDAL (analisis tentang dampak lingkungan) yang isinya mensgatakan bahwa setiap usaha atau kegiatan yang kemungkinan dapat menimbulkan dampak besar wajib memiliki AMDAL. Jika awalnya hanya perusahaan-perusahaan ekstraktif yang banyak mensosialisasikan kegiatan sosial mereka, kini hampir seluruh perusahaan dengan beragam industri yang berlomba untuk mencitrakan positif perusahaannya. Program yang telah dikembangkan oleh banyak perusahaan untuk menghadapi tantangan industri sekarang adalah program *Corporate Social Responsibility* (CSR). Program ini merupakan suatu komitmen bisnis suatu perusahaan untuk memberikan kontribusi positif bagi pembangunan ekonomi berkelanjutan melalui kerjasama dengan para pemangku kepentingan terkait (*stakeholders*), dalam rangka turut meningkatkan kualitas hidup mereka melalui cara-cara yang bermanfaat bagi bisnis sendiri maupun bagi pembangunan dan lingkungan sekitar.

Salah satu perusahaan yang sudah menjalankan program CSR adalah PT.YTL Jawa Timur, merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pembangkit tenaga listrik yang terletak di Paiton di kota Probolinggo. Dalam membangun bisnisnya, PT. YTL Jawa Timur juga tidak luput dari tanggung Jawabnya sebagai perusahaan yang peduli terhadap lingkungan sekitarnya terutama masyarakat yang sedang mengembangkan usaha kecil menengah.

Usaha kecil dan menengah (UKM) memegang peranan penting dalam ekonomi Indonesia, baik ditinjau dari segi jumlah usaha (*establishment*) maupun dari segi penciptaan lapangan kerja. Berdasarkan survei yang dilakukan oleh BPS dan Kantor Menteri Negara untuk Koperasi dan Usaha Kecil dan Menengah (Menekop & UKM), usaha-usaha kecil termasuk usaha-usaha rumah tangga atau mikro (yaitu usaha dengan jumlah total penjualan (*turn over*) setahun

yang kurang dari Rp. 1milyar), pada tahun 2000 meliputi 99,9 persen dari total usaha-usaha yang bergerak di Indonesia. Sedangkan usaha menengah (yaitu usaha-usaha dengan total penjualan tahunan yang berkisar antara Rp. 1 milyar dan Rp. 50 milyar) yaitu 0,14 persen dari jumlah total usaha. Dengan demikian, potensi UKM keseluruhan yaitu 99,9 persen dari jumlah total usaha yang bergerak di Indonesia.

Besarnya peran UKM ini mengindikasikan bahwa UKM merupakan sektor usaha dominan menyerap tenaga kerja. Berdasarkan survei yang dilakukan BPS (2000), pada tahun 1999 usaha-usaha kecil (termasuk usaha rumah tangga) mempekerjakan 88,7 persen dari seluruh angkatan kerja Indonesia, sedangkan usaha menengah mempekerjakan sebanyak 10,7 persen. Hal ini menunjukkan bahwa UKM mempekerjakan sebanyak 99,4 persen dari seluruh angkatan kerja Indonesia. Disamping ini nilai tambah bruto total yang dihasilkan usaha-usaha kecil secara keseluruhan adalah 41,9 per sen dari Produk Domestik Bruto (POB) Indonesia pada tahun 1999, sedangkan usaha-usaha menengah secara keseluruhan menghasilkan 17,5 persen dari POB Dengan demikian, nilai tambah bruto total yang dihasilkan UKM secara keseluruhan sekitar 60 persen dari POB diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1. Jumlah tenaga kerja dan kontribusi UKM pada PDB, 1999

	Usaha Kecil (termasuk mikro)	Usaha Menengah	Usaha Kecil Dan Menengah	Usaha Besar	Total
Jumlah Usaha	36.761.689 (99,99%)	51.889 (0,14%)	36.813.588 (99,99%)	1831 (0,01%)	36.816.409 (100,0%)
Jumlah Tenaga kerja	57.966.368 (88,7%)	7.009.393 (10,7%)	64.974.761 (99,4%)	364.975 (0,6%)	65.339.736 (100,0%)
Sumbangan pada PDB (dalam jutaan Rp. Pada harga bertaku	450.415.060 (41,9%)	187.825.282 (17,5%)	638.240.342 (59,4%)	436.901.970 (40,6%)	1.075.142.312 (100,0%)

Suatu faktor penting di beberapa daerah yang sangat mengurangi daya saing UKM adalah pungutan liar (pungli) atau sumbangan wajib yang dikenakan pejabat aparat pemerintah. Pungli liar ini

akan meningkatkan biaya operasi UKM sehingga mengurangi daya saing mereka. Dengan demikian, pungutan liar maupun beban fiskal yang memberatkan perkembangan UKM di daerah harus dihapuskan. Karena sebab itulah PT.YTL Jawa Timur memiliki program CSR pada pengembangan bisnis agar masyarakat sekitar yang memiliki usaha kecil menengah bias lebih efisien yang ditentukan oleh pertumbuhan produktivitas UKM yang berkelanjutan. Program ini juga dilatar belakangi oleh kemauan masyarakat yang ingin menjadi karyawan perusahaan PT.YTL Jawa Timur, namun ada beberapa hambatan diantaranya keterbatasan jumlah tenaga kerja dan keahlian yang dimiliki oleh masyarakat harus sesuai dengan kualifikasi yang ditentukan perusahaan, sehingga perusahaan harus bertindak lebih giat agar masyarakat sekitar lebih kompeten pengembangan bisnis usaha kecil yang lebih menguntungkan dan bisa membuka lapangan kerja lebih banyak.

Selama ini PT.YTL Jawa Timur telah mengembangkan berbagai jenis bisnis usaha kecil yang berfokus pada *income generating* masyarakat. Hal ini bertujuan agar masyarakat sekitar Paiton bisa hidup mandiri. Masyarakat yang sudah merasakan program CSR PT.YTL Jawa Timur ini meliputi daerah sekitar perusahaan yaitu 2 daerah Situbondo (Banyu, Glugur Dan Sekobanteng) dan 7 daerah Probolinggo (Binor, Sumber Rejo, Sumber Anyar, Paiton, Pondok Kelor, Sukodadi, Kota Anyar). Biaya yang telah dikeluarkan oleh perusahaan untuk menjalankan program CSR sebesar 50% untuk CSR pendidikan, kesehatan masyarakat 20%, *income generating* sebesar 20% *social relationship* sebesar 10%. Dalam hal ini salah satu program CSR perusahaan yang mengarah pada pendidikan, kesehatan masyarakat dan *social relationship* tidak mengalami permasalahan didalam prakteknya, namun untuk program *income generating* tidak mudah dilakukan sebab budaya masyarakat sekitar perusahaan hanya mengandalkan orang lain di dalam berbisnis serta kurang mampu dalam mengelola sumber daya maupun potensi yang ada di daerah sekitar. Berbagai pelatihan-

pelatihan UKM yang telah diberikan agar masyarakat mampu mengembangkan kreativitas dan potensinya. Selain itu juga, pelaksana program CSR pada pengembangan bisnis UKM belum memiliki wawasan tentang pengetahuan pengukuran kinerja CSR sehingga ketrampilan dalam mengelola program ini kurang optimal. Oleh karena itu, untuk an bahwa tanggung Jawab sosial PT.YTL Jawa Tmur telah optimal maka dilakukanlah suatu evaluasi pengukuran kinerja yang berguna untuk mengukur *performance measurement* PT.YTL Jawa Timur terhadap upaya pengembangan UKM masyarakat sekitar. Tujuan lainnya untuk mengetahui faktor-faktor yang menjadi kunci keberhasilan program perusahaan pada pembinaan/ pengembangan bisnis UKM dan diharapkan bisa mengubah perilaku operator CSR pada pengembangan bisnis UKM.

Dalam penelitian ini metode *Performance measurement* yang dipakai adalah *Performance Prism*. *Performance Prism* (Suwignyo, 2000; Vanany, 2004; Febriarso, 2008; Arianto, 2010) memiliki lima segi yaitu sisi atas dan bawah merupakan *satisfaction* dari *stakeholder* dan kontribusi *stakeholder*. Ketiga sisi berikutnya adalah strategi, proses dan kapabilitas. Sistem pengukuran kinerja model *Performance Prism* berupaya menyempurnakan model-model sebelumnya diantaranya *balanced scorecard*. Model ini tidak hanya didasari oleh strategi tetapi juga memperhatikan kepuasan dan kontribusi *stakeholder*, proses dan kapabilitas organisasi. Puas adalah langkah penting dalam model *Performance Prism* (Neely and Adams, 2000). Untuk dapat mewujudkan kepuasan para *stakeholder* tersebut secara sempurna, maka pihak manajemen perusahaan perlu untuk mempertimbangkan strategi-strategi apa saja yang harus dilakukan, proses-proses apa saja yang diperlukan untuk dapat menjalankan strategi tersebut, serta kemampuan apa saja yang harus dipersiapkan untuk melaksanakannya.

Perumusan Masalah, dari identifikasi sebelumnya di lapangan, didapatkan beberapa kondisi yaitu :

Banyak masyarakat yang mengharapkan menjadi karyawan PT.YTL Jawa Timur; Masyarakat Paiton kurang aktif dalam mengembangkan bisnis; Selama pelaksanaan CSR pada pengembangan bisnis UKM belum ada pengukuran secara pasti atas keberhasilan CSR UKM tersebut sehingga implementasinya kurang optimal; CSR pada pengembangan bisnis lebih bersifat kontinu jika dibandingkan dengan CSR yang lain.

METODE

Berdasarkan kondisi yang digambarkan di lapangan timbul suatu permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengukur tingkat kinerja program CSR pada pengembangan bisnis UKM di PT.YTL Jawa Timur dengan pendekatan *Performance Prism* agar implementasinya bisa lebih optimal.

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah: a. Identifikasi faktor keberhasilan CSR perusahaan khususnya pada *income generating* masyarakat yaitu pengembangan bisnis UKM. b. Mengukur kinerja CSR PT.YTL Jawa Timur terhadap pembinaan/pengembangan UKM masyarakat

Ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian. Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah: a. Penelitian akan dilakukan di PT.YTL Jawa Timur Kecamatan Paiton Kabupaten Probolinggo. b. Program CSR yang menjadi obyek penelitian adalah upaya pembinaan UKM. c. Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Selama penelitian, kebijakan perusahaan terhadap pengembangan program CSR pembinaan UKM masyarakat sekitar tidak berubah. Masyarakat UKM mengerti tentang tanggung jawab *social* yang diberikan oleh PT.YTL Jawa Timur khususnya pada program pembinaan UKM.

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah: Memberikan pengetahuan pengukuran kinerja pada CSR pengembangan bisnis UKM. Memberikan ketrampilan dalam mengelola CSR pa-

da pengembangan bisnis UKM. Mengubah perilaku operator CSR pada pengembangan bisnis UKM. Mengetahui tingkat keberhasilan dan kegagalan kinerja suatu organisasi. Memberikan masukan untuk mengatasi permasalahan yang ada. Melalui evaluasi kinerja dapat diketahui apakah pencapaian hasil, kemajuan dan kendala yang dijumpai dalam pelaksanaan misi dapat dinilai dan dipelajari guna perbaikan pelaksanaan program/kegiatan di masa yang akan datang.

Metodologi, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Performance Prism*. Data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Langkah pertama adalah melakukan identifikasi *stakeholder* dari 5 faset *performance Prism* yang selanjutnya akan dihubungkan dengan *objective* perusahaan. Kemudian akan diidentifikasi KPI yang sesuai. Setelah itu masing-masing KPI akan dibobotkan untuk mengetahui bobot KPI masing-masing. Kemudian dilakukan *scoring system* dengan menggunakan OMAX dan TLS untuk mengetahui sejauh mana pencapaian dari masing-masing KPI. Selanjutnya dilakukan analisis kondisi saat ini dan perbaikan dari masing-masing KPI.

Pengumpulan dan pengolahan data, pada tahap ini dilakukan *brainstorming* dengan masing-masing *stakeholder* yang sudah diidentifikasi, kemudian identifikasi untuk masing-masing 5 faset *Performance Prism*. masing-masing faset akan disesuaikan dengan *objective* perusahaan. Identifikasi 5 Faset *Performance Prism*, pada tahap ini dilakukan proses identifikasi 5 faset *Performance Prism* dengan 5 kunci untuk masing-masing *stakeholder* antar lain: 1. *Stakeholder satisfaction*: apa yang dibutuhkan dan diinginkan oleh masing-masing *stakeholder*. 2. *Stakeholder contribution*: kontribusi apa yang bisa diberikan oleh setiap *stakeholder* untuk mencapai *stakeholder satisfaction*. 3. *Stakeholder strategy*: strategi apa yang dilakukan untuk mencapai keinginan dan kebutuhan tersebut. 4. *Stakeholder process*: proses apa yang harus dilakukan untuk mencapai strategi. 6. *Stakeholder capability*: kemampuan apa yang dimiliki oleh PT.YTL Jawa Timur untuk mewu-

judkan keinginan dan kebutuhan *stakeholder*.

Tabel 2. Parameter Kinerja Komponen *Satisfaction*

Stakeholder	Satisfaction	Obyective	KPI
Masyarakat	Bertambahnya kemampuan berwirausaha setelah mengikuti pelatihan. Memperoleh pelatihan dengan teknik modern	Mendorong semangat kelompok untuk lebih kreatif dan terampil	Tingkat ketrampilan masyarakat
	Memperoleh bantuan atau modal	Memberi kesempatan kepada masyarakat untuk bisa mandiri sendiri	Jumlah masyarakat yang mendirikan UKM
	Mendapatkan fasilitas umum untuk mengembangkan usaha berupa peralatan, tempat usaha dll	Meningkatkan peluang pasar dan pemasaran yang lebih luas.	Wilayah pemasaran produk UKM selama ini
KLUCIL	Mendapatkan perhatian dalam memasarkan produk	Meningkatkan kemampuan berwirausaha	Tingkat penghasilan UKM
	Memperoleh sistem informasi yang memungkinkan adanya kontrol kegiatan dan evaluasi UKM	Mempermudah hubungan perusahaan dengan masyarakat	Tingkat koordinasi masing-masing personil
	Membiya UKM agar bisa tata kelola bisnis yang baik	Memperluas jaringan pemasaran	Tingkat pemasaran produk
Instruktur	Adanya struktur dan mekanisme kerja organisasi yang baik	Meningkatkan kemampuan berwirausaha	Tingkat penghasilan UKM
	Menumbuhkan bakat berwirausaha	Pengembangan potensi yang dimiliki	Tingkat kedisiplinan mengikuti pelatihan
	Menumbuhkan kreatifitas masyarakat dalam berbisnis		Kemampuan proses produksi
	Memberikan wawasan tata kelola bisnis		

Dari identifikasi *stakeholder* yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat empat *stakeholder* yang ada pada kegiatan CSR pengembangan bisnis UKM PT.YTL Jawa Timur. Adapun *stakeholder* tersebut adalah: 1). Masyarakat sekitar PT.YTL Jawa Timur. Masyarakat yang dimaksud disini adalah masyarakat yang telah mendapat binaan dari PT.YTL Jawa Timur antara lain peserta pelatihan dan pemilik usaha kecil menengah. 2). Lembaga KLUCIL (Klinik Layanan U-saha Kecil) Lembaga KLUCIL merupakan lembaga binaan PT.YTL Jawa Timur yang mana berfungsi untuk

pengelola program *local* dimana sebagai tempat untuk penyaluran partisipasi, akuntabilitas dari perusahaan agar fokus pada komunitas kelompok sasaran. 3). Instruktur Pelatihan Ketrampilan Pengembangan Bisnis UKM. Pihak ini merupakan salah satu pihak yang penting karena mereka berhubungan dengan masyarakat langsung. Instruktur inilah yang akan membina masyarakat agar trampil dalam tata kelola bisnis, pemandirian, pengembangan kreativitas dan lain-lain agar tetap *sustain* dalam menjalankan usaha.

Tabel 3. Parameter Kinerja Komponen *Contribution*

Stakeholder	Contribution	Obyective	KPI	
Masyarakat	Menambah ilmu, rajin mengikuti pelatihan	Mendorong partisipasi aktif masyarakat	Tingkat antusiasme masyarakat	
	Pembuatan proposal pengembangan bisnis dengan rincian yang jelas, pembuatan lahan untuk pengembangan bisnis, membuat permohonan kepada perusahaan menanamkan sistem kepercayaan	Memberi kesempatan kepada masyarakat untuk bisa mandiri sendiri,		Jumlah proposal yang diajukan
	Penggunaan fasilitas yang tepat dan efektif untuk mengembangkan bisnis, merawat dan menggunakan peralatan dengan benar	Meningkatkan kemampuan produksi		Kemampuan penggunaan alat produksi
	Mencoba hal baru, mengikuti pelatihan tentang tata cara penggunaan teknologi tepat guna			
	Memperbanyak networking, mengikuti pameran dengan dipandu pihak yang terlibat dalam pelatihan dengan mengedepankan kualitas terhadap hasil produksi	Meningkatkan peluang pasar dan pemasaran yang lebih luas		Tingkat networking masyarakat
KLUCIL	Dokumentasi absensi dan hasil kegiatan	Membiya masyarakat UKM	Tingkat jumlah penjualan	
	Mengumpulkan grafik penjualan UKM		Tingkat keserogan mengikuti	
	Masing-masing anggota bekerja sesuai fungsi, dibuatkan bagan organisasi yang terpampang dengan jelas	wadah untuk memperbesar akses masyarakat	Tingkat kejelasan job desk masing-masing personil	
Instruktur	Memberikan pengaruh pentingnya berwirausaha			
	Materi desain kreatif		Tingkat kemampuan berkreaitifitas	
	Memberikan ketrampilan dengan pelatihan-pelatihan	Meningkatkan kemampuan berwirausaha		
	Penyampaian materi keuangan		Tingkat kemampuan kelola keuangan	
Regulator	Memberi kebijakan perlindungan keamanan setiap kegiatan	Menjaga keharmonisan dengan pihak lam	Tingkat kepedulian pemerintah daerah	
	Bekerja sama dengan instansi yang ada guna memperluas lapangan pekerjaan			

Regulator, peraturan pemerintah secara langsung memberikan pengaruh yang besar bagi perusahaan. Dalam hal ini lebih terfokuskan kepada otonomi daerah dimana wilayah Paiton yang akan mendapatkan perhatian dari perusahaan. *Stakeholder* meliputi para kepala daerah di Paiton dan sekitarnya meliputi Bi-nor, Sumber Rejo, Sumber Anyar, Pai-ton, Pondok Kelor, Sukodadi, Kota Anyar.

Identifikasi KPI, tahap ini dilakukan *interview* dengan pihak yang kompeten diperusahaan untuk menentukan nilai KPI yang sesuai dengan *objective* PT.YTL Jawa Timur. KPI didapat dari berdasarkan pengelompokan masing-masing faset *Performance Prism* dari masing-masing *stakeholder*. Berikut adalah pengelompokan KPI dari masing-masing faset *Performance Prism*.

Tabel 4. Parameter Kinerja Komponen *Strategy*

Stakeholder	Strategy	Objective	KPI	
Masyarakat	Meningkatkan perhatian kepada UKM	Meningkatkan kemampuan masyarakat	Tingkat kepedulian perusahaan kemampuan memelihara peralatan produksi	
	Memberi wawasan pengetahuan perawatan fasilitas			
KLUCIL	Sistem informasi yang terkomputerisasi	Kemudahan menjalankan kegiatan	Tingkat kecanggihan informasi	
	Struktur organisasi jelas		Tingkat konsistensi personil	
Instruktur	Memberi materi tentang berwirausaha	Pembinaan masyarakat UKM	Tingkat keahlian masyarakat	
	Masyarakat diberi kebebasan dalam berkreasi			
Regulator	Pengontrolan sistem pelatihan pembinaan	Membangun jaringan kompetensi	Tingkat keharmonisan dengan pemerintah	
	Mengutamakan rakyat Paiton sebagai prioritas			Mencegah sedini mungkin terjadinya konflik sosial

Validasi digunakan untuk menilai apakah KPI tersebut mampu mempresentasikan kondisi CSR pada pengembangan bisnis UKM. Dari beberapa KPI yang telah dirancang, terdapat KPI yang dihilangkan setelah divalidasi oleh pihak perusahaan. Hal tersebut dikarenakan terdapat KPI yang sama di tiap *stakeholder*. *stakeholder* yang berbeda memiliki keinginan yang sama sehingga menyebabkan KPI tersebut harus sama. KPI yang telah dihilangkan setelah divalidasi adalah sebagai berikut:

KPI tingkat penghasilan UKM yang terdapat pada faset *satisfaction stakeholder* KLUCIL; KPI tingkat jumlah penjualan yang terletak pada faset *contribution stakeholder* KLUCIL; KPI tingkat kemampuan berkeaktifitas yang terletak pada faset *contribution* pada *stakeholder* instruktur; KPI tingkat kecanggihan informasi yang terletak pada faset *strategy stakeholder* KLUCIL; KPI banyaknya konflik yang terjadi yang terletak pada faset *strategy stakeholder regulator*; KPI tingkat konsistensi personal yang terletak pada faset *process stakeholder* KLUCIL; KPI tingkat konsistensi personal KLUCIL yang terletak pada faset *capability stakeholder* KLUCIL; KPI tingkat kecanggihan penggunaan teknologi lembaga KLUCIL yang teletak pada faset *capability stakeholder* KLUCIL; KPI tingkat kemampuan masyarakat memperluas jaringan pemasaran yang terletak pada faset *capability stakeholder* masyarakat; KPI tingkat koordinasi tiap personil yang terletak pada faset *capability stakeholder* KLUCIL.

Tabel 5. Parameter Kinerja Komponen *Process*

Stakeholder	Process	Objective	KPI
Masyarakat	Memperluas jaringan kerja sama dengan pihak lain	Meningkatkan kemampuan dan ketampilan masyarakat UKM	Jumlah penjualan
	Pemberian wawasan tentang proses produksi serta perawatan penggunaan fasilitas		
KLUCIL	Ikut memasarkan produk	Wadah untuk memperbesar akses masyarakat	Tingkat kemampuan pasar dan pemasaran yang lebih luas.
	Mengumpulkan informasi setiap kegiatan pelatihan atau binaan		Tingkat kecanggihan pemakaian teknologi
	Informasi data yang akurat dan teratur		Tingkat konsistensi personal
	Kerapian dan kecanggihan dalam menyimpan data		
Instruktur	Menjalankan tugas sesuai job desk	Meningkatkan kemampuan masyarakat UKM	Tingkat kemampuan instruktur
	Pembelajaran tentang tata kelola keuangan		
	Pengembangan ide-ide kreatif		
	Pembelajaran peluang pasar		
Regulator	Menjaga kedisiplinan kegiatan	Masyarakatnya menjadi mandiri dan memiliki kualitas hidup yang lebih baik secara sosial,	Tingkat kesejahteraan masyarakat
	Ikut merencanakan program pembinaan yang menarik masyarakat		

Total seluruh *Key Performance Indicators* yang bisa digunakan untuk

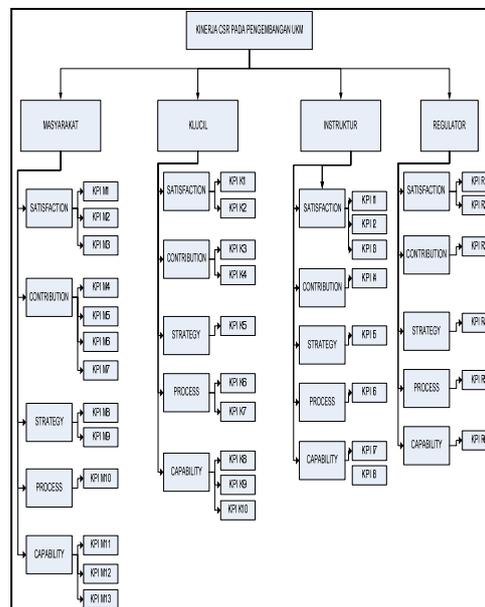
melakukan pengukuran kinerja CSR pada pengembangan UKM adalah 37 KPI. Setelah seluruh KPI yang divali-dasi dari setiap masing-masing fasetnya, *level* teratas adalah pengukuran kinerja CSR pada pengembangan bisnis UKM dari PT.YTL Jawa Timur, *level* dibawah-nya adalah *criteria stakeholder* yang mempengaruhi kinerja tersebut.

Tabel 6. Parameter Kinerja Komponen *Capability*

Stakeholder	Capability	Objective	KPI
Masyarakat	Menyediakan dana untuk UKM	Memberi kesempatan masyarakat untuk berwirausaha	Jumlah dana yang dikeluarkan
	Bekerja sama dengan pemerintah daerah	Membentuk jaringan kerja sama	Tingkat akses perijinan
	Memperkuat koperasi sebagai lembaga yang menyediakan pendanaan bagi UKM	Meningkatkan peran Koperasi dan Pengusaha Kecil menjadi Usaha Menengah untuk memperkuat struktur perekonomian	Tingkat akses pendanaan
	Mengikuti pameran		Tingkat kemampuan masyarakat memperluas jaringan pemasaran
	Memperluas usaha pemasaran produk	Membangun jaringan kompetensi	
KLUCIL	Dibentuk struktur organisasi yang jelas	Wadah untuk memperbesar akses masyarakat	Tingkat konsistensi personil
	Menjaga keharmonisan antara perusahaan dengan masyarakat		Tingkat keharmonisan masyarakat dan perusahaan.
	Sistem informasi yang ringkas		Tingkat kecanggihan penggunaan teknologi lembaga Klucil
	Dokumentasi setiap kegiatan		Tingkat kepedulian lembaga Klucil dengan masyarakat
Instruktur	Menjaga komunikasi antar personil		Tingkat koordinasi tiap personil
	Bekerja sama dengan Disperdag dan Perbankan		Tingkat kemampuan lembaga Klucil bekerja sama dengan pihak lain
Instruktur	Menyediakan tempat pelatihan dan usaha yang akan dijalankan	Menumbuhkan atmosfir usaha dengan pemanfaatan sumber daya yang ada	Tingkat ide saran kreatifitas masyarakat
	Menyediakan kebebasan mengeksplere potensi alam sekitar		
	Evaluasi kemampuan masyarakat dalam berwirausaha	Pembinaan yang tepat sasaran	Tingkat penghasilan masyarakat
Regulator	Tepat dalam memilih instruktur pelatihan		Konsistensi instruktur pada saat pembinaan
	Pembinaan UKM secara kontinu	Meningkatkan kesejahteraan yang berkelanjutan	Jumlah UKM yang mendapat perhatian

Level dibawahnya lagi adalah subkriteria 5 faset untuk setiap *stakeholder* dan level terbawah adalah *Key Performance Indicators* dari masing-masing subkriteria diatasnya. Berikut adalah hierarki kerja CSR pada pengembangan

bisnis UKM dari PT. YTL Jawa Timur adalah



Gambar 1 Hirarki kinerja CSR pengembangan bisnis UKM PT.YTL Jawa Timur.

Pembobotan Dengan *Analytical Hi-erarchy Process (AHP)*, Menentukan bobot dari masing-masing KPI berdasarkan kuisiner yang telah disebar oleh pihak yang expert di perusahaan. Perhitungan dilakukan dengan metode AHP (Saaty, 2000) dengan *Software Expert Choice*. Langkah awal yang dilakukan dalam pembobotan ini adalah membuat kuisiner pembobotan yang bersifat tertutup. Kuisiner tersebut kemudian diisi oleh satu orang dari pihak *management*, dimana orang-orang tersebut benar-benar menguasai bidang yang bersangkutan. Setelah kuisiner diisi, kemudian pengolahan data akan dilakukan dengan menggunakan *Software Expert Choice 2000*. Berikut ini adalah hasil pembobotan seluruh *Key Performance Indicators* yang diolah dengan menggunakan *Software Expert Choice 2000*, cara perhitungannya adalah :
 Bobot KPI M-1 = (Bobot *stakeholder* masyarakat) x (Bobot faset dalam *stakeholder* masyarakat) x (Bobot KPI dalam faset *satisfaction*). Hasil pembobotannya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Bobot KPI CSR pengembangan bisnis UKM PT.YTL Jawa Timur

KPI	BOBOT	KPI	BOBOT	KPI	BOBOT	KPI	BOBOT
M-1	0.013	K-1	0.002	I-1	0.001	R-1	0.050
M-2	0.021	K-2	0.004	I-2	0.001	R-2	0.025
M-3	0.066	K-3	0.033	I-3	0.003	R-3	0.033
M-4	0.007	K-4	0.011	I-4	0.038	R-4	0.010
M-5	0.017	K-5	0.014	I-5	0.009	R-5	0.019
M-6	0.036	K-6	0.001	I-6	0.007	R-6	0.088
M-7	0.087	K-7	0.003	I-7	0.003		
M-8	0.014	K-8	0.013	I-8	0.001		
M-9	0.027	K-9	0.002				
M-10	0.072	K-10	0.005				
M-11	0.021						
M-12	0.070						
M-13	0.175						
1							

PEMBAHASAN

Scoring System, Langkah selanjutnya, model pengukuran kinerja tersebut dapat dipadukan dengan model *scoring system* yaitu model sebagaimana fungsinya untuk menyamakan skala nilai dari masing-masing indikator, sehingga pencapaian terhadap tiap-tiap parameter yang ada dan dapat mengetahui kinerja perusahaan. Kemudian digunakan *Traffic Light System* untuk mengetahui KPI mana yang harus diperbaiki.

Pada tahap *scoring* ini perhitungan dan analisis data yang digunakan didasarkan pada kuisioner ke III yaitu kuisioner untuk mengukur sejauh mana kinerja aktual CSR pada pengembangan bisnis UKM yang selama ini dilakukan oleh perusahaan. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan skala *likert*, yaitu skala yang berisi lima tingkat jawaban, yang merupakan skala jenis ordinal. Kuisioner disebarakan pada semua anggota KLUCIL yang berjumlah 8 orang. Jumlah tersebut diambil dengan pertimbangan bahwa pelaksanaan CSR pada UKM sering melibatkan semua pengurus KLUCIL sehingga responden tersebut dianggap kompeten dalam mengisi kuisioner.

Objective Matrix (OMAX), Metode *scoring system* yang digunakan untuk mengukur kinerja perusahaan adalah OMAX. OMAX adalah suatu sistem pengukuran produktivitas parsial yang digunakan untuk memantau produktivitas di tiap bagian perusahaan dengan kriteria produktivitas yang sesuai dengan keberadaan bagian tersebut (objektif). Imple-

mentasi model sistem pengukuran kinerja CSR pada UKM dengan metode *Performance Prism* di PT.YTL Jawa Timur adalah berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Tujuan dilakukannya *scoring system* adalah untuk mengetahui nilai pencapaian masing-masing KPI dari target yang telah ditentukan. Target untuk semua KPI adalah skala 5, sedangkan batas bawahnya adalah nol. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 3.8. Rata-rata skala pencapaian dihasilkan dari jumlah hasil pengukuran dibagi dengan jumlah responden. Sebagai contoh: Rata-rata skala pencapaian KPI M-1 = $(3+2+4+2+3+3+3+2)/8=2.75$

Tabel 8. Pencapaian *Performance* tiap KPI

STAKEHOLDER MASYARAKAT	Rata-rata Skala Pencapaian
KEYPERFORMANS INDICATOR (KPI)	
M-1. Tingkat ketrampilan masyarakat	2.75
M-2. Jumlah masyarakat yang mendirikan UKM	2.88
M-3. Wilayah pemasaran produk UKM selama ini	3.38
M-4. Tingkat antusiasme masyarakat	3.13
M-5. Jumlah proposal yang diajukan	2.00
M-6. Kemampuan penggunaan alat produksi	3.75
M-7. Tingkat networking masyarakat	3.63
M-8. Tingkat kepedulian perusahaan	4.00
M-9. Kemampuan memelihara peralatan produksi	4.13
M-10. Jumlah penjualan	3.38
M-11. Jumlah dana yang dikeluarkan perusahaan	4.38
M-12. Tingkat akses perijinan	4.38
M-13. Tingkat akses pendanaan	4.00
STAKEHOLDER KLUCIL	
KEYPERFORMANS INDICATOR (KPI)	
K-1. Tingkat kesediaan fasilitas (internet, komputer)	3.13
K-2. Tingkat koordinasi masing-masing personil	3.50
K-3. Tingkat keseriusan mengikuti pelatihan	2.75
K-4. Tingkat kejelasan job desk masing-masing personil	3.25
K-5. Tingkat konsistensi personil KLUCIL	3.88

Dari hasil pengukuran melalui metode penyebaran kuisioner maka kemudian dilakukan perbandingan skala pengukuran dengan skala *Performance*. Skor *actual* merupakan nilai performansi yang mendekati nilai *actual*. Sebagai contoh perhitungan untuk KPI M-1 dengan langkah interpolasi. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut Level 6-7

$$\frac{3.00-2.75}{2.75-2.5} = \frac{6-x}{x-5}; \quad 1(x-5)=(6-x) \quad \text{Maka}$$

$$x-5=6-x; \quad 2x=11, \quad x= 5.5$$

Tabel 9. Pencapaian *Performance* tiap KPI (*lanjutan*)

STAKEHOLDER KLUCIL	Rata-rata Skala Pencapaian
K-6. Tingkat kemampuan masyarakat membaca peluang pasar	3.13
K-7. Tingkat kecanggihan pemakaian teknologi	3.00
K-8. Tingkat keharmonisan masyarakat dan perusahaan.	3.63
K-9. Tingkat kepedulian lembaga KLUCIL dengan masyarakat	3.88
K-10. Tingkat kemampuan lembaga KLUCIL bekerja sama dengan pihak lain	3.75
STAKEHOLDER INSTRUKTUR	
KEYPERFORMANS INDICATOR (KPI)	
I-1. Tingkat kedisiplinan mengikuti pelatihan	3.50
I-2. Kemampuan proses produksi	3.50
I-3. Tingkat kualitas produk	3.63
I-4. Tingkat kemampuan kelola keuangan	2.63
I-5. Tingkat keahlian masyarakat berwirausaha	2.25
I-6. Tingkat kemampuan instruktur	4.00
I-7. Tingkat ide saran kreatifitas masyarakat	2.75
I-8. Konsistensi instruktur pada saat pembinaan	3.75
STAKEHOLDER REGULATOR	
KEYPERFORMANS INDICATOR (KPI)	
R-1. Tingkat pendapatan perkapita	2.75
R-2. Tingkat jumlah pengangguran	2.38
R-3. Tingkat kepedulian pemerintah daerah	1.88
R-4. Tingkat keharmonisan dengan pemerintah	3.38
R-5. Tingkat kesejahteraan masyarakat	3.38
R-6. Jumlah UKM yang mendapat perhatian	2.38

Tabel 10. *Objective matrix stakeholder masyarakat*

KPI	KPI												
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13
PENCAPAIAN	2.75	2.875	3.375	3.125	2	3.75	3.625	4	4.125	3.375	4.375	4.375	4
10	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
9	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
8	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
6	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SKOR AKTUAL	5.5	5.75	6.75	6.25	4	7.5	7.25	8	8.25	6.75	8.75	8.75	8
BOBOT	0.013	0.021	0.066	0.007	0.017	0.036	0.087	0.014	0.027	0.072	0.021	0.070	0.175
HASIL PERFORMANSI	0.072	0.119	0.443	0.046	0.067	0.271	0.627	0.108	0.224	0.465	0.184	0.613	1.404

Nilai 5,5 berada diantara skala pencapaian 5 dan 6. Kemudian dicari nilai yang mendekati yaitu 2.5. Bobot *actual* didapatkan dari perhitungan sebelumnya untuk masing-masing KPI. Selanjutnya hasil performansi dihasilkan dari perkalian antara bobot KPI dengan skor *actual*.

Tabel 11. *Objective matrix stakeholder KLUCIL*

KPI	KPI									
	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
PENCAPAIAN	3.125	3.5	2.75	3.25	3.875	3.125	3	3.625	3.875	3.75
10	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
9	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
8	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
6	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SKOR AKTUAL	6.25	7.00	5.50	6.50	7.75	6.25	6.00	7.25	7.75	7.50
BOBOT	0.002	0.004	0.033	0.011	0.014	0.001	0.003	0.013	0.002	0.005
HASIL PERFORMANSI	0.013	0.028	0.179	0.070	0.111	0.004	0.016	0.097	0.017	0.041

Tabel 12. *Objective matrix stakeholder instruktur*

KPI	KPI							
	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8
PENCAPAIAN	3.5	3.5	3.625	2.625	2.25	4	2.75	3.75
10	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
9	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
8	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
6	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SKOR AKTUAL	7.00	7.00	7.25	5.25	4.50	8.00	5.50	7.50
BOBOT	0.00087	0.00138	0.003293	0.037548	0.009198	0.006867	0.003393	0.000642
HASIL PERFORMANSI	0.006093	0.009663	0.023875	0.197127	0.041391	0.054936	0.018664	0.004813

Dari hasil perhitungan tabel diatas didapatkan nilai index keseluruhan adalah 6.721. nilai *index* tersebut didapatkan dengan menjumlahkan keseluruhan hasil performansi yang didapatkan dari masing-masing *stakeholder*.

Perancangan *Traffic Light System* (TLS), *Traffic Light System* (TLS) berfungsi sebagai tanda apakah *score* dari suatu indikator kinerja memerlukan suatu perbaikan atau tidak. Indikator dari

TLS ini direpresentasikan dengan hijau, kuning dan merah.

Tabel 13. Objective matrix stakeholder regulator

KPI	KPI					
	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6
PENCAPAIAN	2.75	2.375	1.875	3.375	3.375	2.375
10	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
9	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
8	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
6	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
5	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SKOR AKTUAL	5.50	4.75	3.75	6.75	6.75	4.75
BOBOT	0.049753	0.024839	0.032928	0.010304	0.018592	0.087584
HASIL PERFORMANSI	0.273641	0.117986	0.12348	0.069552	0.125496	0.416024

Tabel 14. Daftar KPI yang masuk dalam kategori kuning

NO.KPI	KEY PERFORMANS INDICATOR (KPI)
M-1	Tingkat ketrampilan masyarakat
M-2	Jumlah masyarakat yang mendirikan UKM
M-3	Wilayah pemasaran produk UKM selama ini
M-4	Tingkat antusiasme masyarakat
M-5	Jumlah proposal yang diajukan
M-6	Kemampuan penggunaan alat produksi
M-7	Tingkat networking masyarakat
M-10	Jumlah penjualan
K-1	Tingkat kesediaan fasilitas (internet, komputer)
K-2	Tingkat koordinasi masing-masing personil
K-3	Tingkat keserogan mengikuti pelatihan
K-4	Tingkat kejelasan job desk masing-masing personil
K-5	Tingkat konsistensi personil Kunci
K-6	Tingkat kemampuan masyarakat membaca peluang pasar
K-7	Tingkat kecanggihan pemakaian teknologi
K-8	Tingkat keharmonisan masyarakat dan perusahaan.
K-9	Tingkat kepedulian lembaga Kunci dengan masyarakat
K-10	Tingkat kemampuan lembaga Kunci bekerja sama dengan pihak lain
I-7	Tingkat ide saran kreatifitas masyarakat
I-8	Konsistensi instruktur pada saat pembinaan
R-1	Tingkat pendapatan perkapita
R-2	Tingkat jumlah pengangguran
R-4	Tingkat keharmonisan dengan pemerintah
R-5	Tingkat kesejahteraan masyarakat
R-6	Jumlah UKM yang mendapat perhatian

Tabel 15. Daftar KPI yang masuk dalam kategori hijau.

NO.KPI	KEY PERFORMANS INDICATOR (KPI)
M-8.	Tingkat kepedulian perusahaan
M-9	Kemampuan memelihara peralatan produksi
M-11	Jumlah dana yang dikeluarkan perusahaan
M-12	Tingkat akses perijinan
M-13	Tingkat akses pendanaan
I-6	Tingkat kemampuan instruktur

Tabel 16. Daftar KPI yang masuk dalam kategori merah

NO.KPI	KEY PERFORMANS INDICATOR (KPI)
R-3	Tingkat kepedulian pemerintah daerah

Analisa Implementasi Hasil Scoring System, dari implementasi pengukuran kinerja dari pada menggunakan OMAX dan TLS, maka dapat dikelompokkan *key Performance indicator* berdasarkan indikator warnanya adalah:

KPI yang diberi indikator warna hijau, yang berarti capaian KPI yang bersangkutan sangat baik karena realisasinya memenuhi target yang ditetapkan oleh perusahaan. KPI tersebut sudah berada dalam kondisi yang baik sehingga tidak perlu dilakukan perbaikan, tetapi yang perlu ditingkatkan adalah pemantauan yang konsisten sehingga kondisi yang sudah baik tersebut semakin meningkat dan terjaga performansinya. KPI yang berindikasi warna hijau antara lain: tingkat kepedulian perusahaan, kemampuan memelihara peralatan produksi, tingkat akses perijinan, dan tingkat akses pendanaan, tingkat kemampuan instruktur.

KPI yang diberi indikator warna kuning yang berarti performansi KPI yang bersangkutan dalam kondisi yang cukup tetapi realisasinya belum mencapai target yang ditentukan oleh perusahaan oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan performansinya. KPI tersebut belum memerlukan perbaikan yang serius, namun perusahaan harus siap dengan berbagai macam kemungkinan yang terjadi, karena sifatnya belum stabil dan kemungkinan penurunan capaiannya

sangat besar. KPI yang berindikasi warna kuning antara lain: KPI tingkat ke-trampilan masyarakat, jumlah masyarakat yang mendirikan UKM, wilayah pemasaran produk UKM selama ini, tingkat antusiasme masyarakat, jumlah proposal yang diajukan, kemampuan menggunakan alat produksi, tingkat *networking* masyarakat dan jumlah penjualan, KPI tingkat kesediaan fasilitas (*internet, computer*), tingkat koordinasi masing-masing personil, tingkat keseringan mengikuti pelatihan, tingkat kejelasan *job desc* masing-masing personil KLUCIL, tingkat konsistensi personil KLUCIL, tingkat kemampuan masyarakat membaca peluang pasar, tingkat kecanggihan pemakaian teknologi, tingkat keharmonisan masyarakat dan perusahaan, tingkat kepedulian lembaga KLUCIL dengan masyarakat dan tingkat kemampuan lembaga KLUCIL bekerja sama dengan pihak lain, tingkat kedisiplinan mengikuti pelatihan, Kemampuan proses produksi, tingkat kualitas produk, tingkat kemampuan mengelola keuangan, tingkat keahlian masyarakat berwirausaha, tingkat ide/saran kreatifitas masyarakat dan konsistensi instruktur pada saat pembinaan, KPI tingkat pendapatan perkapita, tingkat jumlah pengangguran, tingkat keharmonisan dengan pemerintah, tingkat jumlah pengangguran, tingkat kesejahteraan masyarakat, dan jumlah UKM yang mendapat perhatian.

KPI yang diberi indikator warna merah yang berarti performansi KPI yang bersangkutan dalam kondisi yang sangat buruk dan perlu dilakukan perbaikan sesegera mungkin, karena realisasinya jauh dibawah target yang ditentukan oleh perusahaan. KPI yang berindikasi warna merah antara lain: tingkat kepedulian pemerintah daerah yang mana dirasa kurang didalam implementasinya. Pemerintah belum cukup bisa menciptakan suasana yang mendukung perkembangan bagi UKM. Masih ada pembayaran pajak yang memberatkan bagi UKM tersebut. Tidak hanya itu saja, melainkan biaya-biaya juga muncul pada saat pengadaan pameran produk-produk UKM sehingga masyarakat merasa terbebani.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Metode *Performance Prism* sebagai *system* pengukuran kinerja memberikan informasi dan membantu pihak-pihak yang berkepentingan (*stakeholder*) dan pihak pengambil keputusan untuk melihat performansi dari masing-masing pengukuran yang dihasilkan dari masing-masing faset bidang *Performance Prism*. Hasil perancangan model pengukuran kinerja mengidentifikasi 37 *key Performance indicators* yang mewakili 4 kriteria yaitu 13 KPI pada *stakeholder* masyarakat, 10 KPI pada *stakeholder* Klucil, 8 KPI pada *stakeholder* instruktur dan 6 KPI pada *stakeholder* regulator.

Berdasarkan hasil *scoring system* didapatkan nilai OMAX sebesar 6.721 artinya kinerja perusahaan sudah bisa dikatakan baik namun belum mencapai target sesuai yang diharapkan dan harus ditingkatkan. *Key Performance Indicators* yang mencapai level tertinggi adalah tingkat kepedulian perusahaan, kemampuan memelihara peralatan produksi, jumlah dana yang dikeluarkan perusahaan, tingkat akses perijinan dan tingkat akses pendanaan. KPI yang mencapai level terendah adalah tingkat kepedulian pemerintah daerah

Berdasarkan perancangan dan pengukuran kinerja yang telah dilakukan pada CSR pengembangan bisnis UKM maka terdapat saran yang dapat digunakan sebagai masukan bagi PT.YTL Jawa Timur. Saran-saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

Pelaksanaan CSR pada pengembangan bisnis UKM seharusnya dibuat rancangan pengukuran kinerja dan dilakukan secara berkala agar dapat mendeteksi apabila ada penurunan performansi sehingga dapat dilakukan perbaikan secepatnya oleh karena itu sangat diperlukan komitmen pada *top management* yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

Arianto, E.S. 2010. Analisa Pengukuran Kinerja Dengan Menggunakan Metode *Performance Prism*. Jurnal Teknik Industri-ITS.

- Badan Pusat Statistik, 2000. Sensus Ekonomi 1996: Hasil Pencacahan Lengkap Indonesia, BPS, Jakarta.
- Febriarso, P. 2008. Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Dengan Metode *Performance Prism*. Tugas akhir Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Neely, A.D., dan Adams, C.A. 2000. Perspectives on Performances: The Performance *Prism*, Centre For Business Performance, Cranfield School Of Management, UK.
- Saaty, T. L. 2000. Fundamental of Decision Making and Priority Theory with The Analytical Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publication.
- Suwignjo, P. 2000. Sistem Pengukuran Kinerja: Sejarah Perkembangan dan Agenda Penelitian ke Depan. Proceeding Seminar Nasional Performance Management Bagian C. Hotel Wisata. Jakarta.
- Vanany, I. 2004. Perancangan Dan Implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Dengan Metode Performance *Prism* Pada Bisnis Hotel. Jurnal Teknik Industri-Petra. (Desember) 6,2. :148-155.

SISTEM VIRUS BATCH SEDERHANA

Erfanti Fatkhiyah¹, Doddy Muhammad Isa²

¹Jurusan Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Alumni Teknik Informatika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 11 September 2011, revisi masuk : 14 Januari 2012, diterima: 17 Januari 2012

ABSTRACT

Virus growth is currently very rapid and the type of virus that has circulated is also very diverse. One of those is a batch virus, a virus that uses simple commands in DOS. Batch virus did not differ with other viruses, only the manufacturing process does not require advanced programming language. With just some command line, virus of this type can be a simple virus that are simply annoying, or a virus that is quite dangerous. The process of making batch virus is quite simple, just disable, enable, and disable the facility in the operating system, and copying files. Examples of making batch virus of file extension exe by displaying one of the icons. Examples of simple batch virus has been created and tested into the Windows operating system, it can be quite successful, and targeted attacks are mostly Windows registry, but did not rule out also to attack the existing files, eg file documents , pictures, etc., which can cause the files are unusable, disappear, and so forth.

Keywords: *virus batch, sistem operasi windows, registry windows*

INTISARI

Perkembangan virus saat ini sangat pesat dan jenis virus yang sudah beredar pun sangat beragam. Salah satu varian virus adalah Virus Batch, virus sederhana yang menggunakan perintah-perintah dalam DOS. Virus batch tidak berbeda dengan virus-virus yang lain, hanya proses pembuatannya tidak memerlukan bahasa pemrograman tingkat lanjut dengan beberapa baris perintah saja, virus jenis ini bisa menjadi virus sederhana yang sifatnya hanya mengganggu, atau menjadi virus yang cukup berbahaya. Proses pembuatan virus batch cukup sederhana, hanya dengan menonaktifkan, aktifkan, mematikan fasilitas dalam system operasi, dan mengkopi file. Contoh pembuatan virus batch berupa file .exe dengan menampilkan salah satu icon. Contoh virus batch sederhana ini telah dibuat dan diujikan ke dalam sistem operasi Windows, ternyata bisa dikatakan cukup berhasil, dan yang menjadi sasaran penyerangan sebagian besar adalah registry Windows, tetapi tidak menutup kemungkinan juga untuk melakukan penyerangan ke file-file yang ada, misal file dokumen, gambar, dan lain-lain, yang bisa menyebabkan file-file tersebut tidak dapat digunakan, menghilang, dan lain sebagainya.

Kata kunci: *virus batch, sistem operasi windows, registry windows*

PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi komunikasi dan informasi sangat pesat, sehingga manusia semakin mudah menjalankan aktivitasnya sehari-hari.

Sebagian besar orang bekerja dengan komputer, baik menggunakan desktop PC, laptop atau notebook. Bahkan sampai semua data pekerjaan, dokumentasi, koleksi foto, lagu, video, dan lain-lain, semuanya dapat disimpan

dalam perangkat PC maupun Notebook tersebut, sehingga memudahkan apabila akan digunakan sewaktu-waktu, tetapi sering perangkat elektronik tersebut kurang mendapat perhatian lebih dari para pengguna maupun pemiliknya, terutama di sisi keamanan. Contoh: virus yang menyerang PC maupun Notebook yang mengganggu dokumen atau aplikasi dalam komputer, lebih parah lagi

¹erfunthyie@yahoo.co.id

aplikasi menjadi tidak dapat dijalankan atau dokumen menjadi rusak.

Perkembangan virus pun tidak kalah pesatnya. Jenis virus yang sudah beredar sangat beragam, salah satunya virus batch, virus sederhana yang menggunakan perintah-perintah dalam DOS. Sebenarnya jenis virus batch ini tidak berbeda dengan virus-virus yang lain, hanya proses pembuatannya tidak memerlukan bahasa pemrograman tingkat lanjut dengan beberapa baris perintah saja virus jenis ini bisa menjadi virus sederhana yang sifatnya hanya mengganggu, atau menjadi virus yang cukup berbahaya. Penelitian ini dilakukan agar dapat lebih mengetahui tentang seluk beluk virus batch dan bahayanya, mengetahui metode penyerangan dan penyebaran virus, serta memberikan manfaat kepada user mengetahui dan menyadari apakah komputernya telah terserang virus batch atau belum, sehingga dapat mencegah virus batch menginfeksi komputer user. Salah satu cara agar virus batch tidak masuk adalah dengan mencegah user mengakses fitur-fitur tertentu, seperti registry editor, command prompt, task manager, dan lain sebagainya.

Menurut (Mufadhol, 2008), dalam tulisannya menjelaskan pengertian, cara penyebaran, jenis-jenis virus komputer, kondisi komputer apabila terserang virus, dan tips pencegahan serangan virus. Dari tulisan tentang seluk beluk virus komputer ini membantu meningkatkan kesadaran dan menambah pengetahuan user terhadap virus komputer serta cara-cara pencegahannya, salah satunya pemasangan antivirus.

Tinjauan pustaka lainnya (Suhandi, 2009), meneliti perilaku virus H1N1 pada sistem operasi windows dan membuat aplikasi antivirus songket menggunakan metode Behavior Blocking Detection untuk menangkal virus H1N1 tersebut.

Aktivitas serangan virus secara umum dimulai akibat "kecerobohan" user, yaitu ketika user men-double click suatu file yang telah terinfeksi oleh virus. File-file virus tersebut biasanya berekstensi *.bat, *.exe, *.scr, *.vbs. File-file dengan ekstensi seperti itu adalah file program yang dapat diakses atau dijalankan

secara langsung oleh komputer (Windows) tanpa perantara software tambahan dari Windows. Begitulah asal mula kehidupan virus di komputer user. (Rafrastara, 2007).

Semakin majunya perkembangan virus sekarang ini perlu diwaspadai juga, karena virus tidak hanya bisa menginfeksi file-file program seperti disebutkan di atas, tapi bisa juga menginfeksi file gambar, video, lagu, juga file-file dokumen dan sebagainya. Jadi tidak tertutup kemungkinan bila suatu saat file dokumen tiba-tiba tidak bisa dibuka lagi, atau menghilang dengan tiba-tiba. Kemungkinan-kemungkinan seperti itu harus tetap diwaspadai.

Dalam dunia perkomputeran saat ini, virus bukanlah suatu hal yang menggemparkan. Bahkan mungkin sudah menjadi hal yang biasa di kalangan para pengguna komputer. Mulai dari virus yang sederhana, hingga virus yang sifatnya sangat berbahaya yang memiliki kemampuan yang bersifat merusak baik sistem maupun data yang ada di dalam suatu komputer. Definisi Virus adalah suatu program *malware* (*software* jahat) yang sifatnya mengganggu dan cenderung merusak kinerja sistem atau file-file tertentu yang merupakan sasaran utama mereka. Biasanya memiliki kemampuan untuk berkembang biak dan memanfaatkan program lain untuk penyebarannya.

Syarat agar suatu program dapat disebut sebagai virus, antara lain : mampu menggandakan diri hingga ke *removable disk*, mampu menyembunyikan proses kerjanya, mampu memanipulasi file atau folder, mampu memanipulasi registry.

Jenis virus bisa dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu: (Shadewa, 2007). *Virus Boot Sector*, merupakan virus umum, menggandakan diri dengan cara menindih boot sector asli pada sebuah disk, sehingga pada saat booting virus akan langsung dijalankan ke memori. Virus file, virus ini menyerang file yang dijalankan oleh suatu sistem operasi. Biasanya menyerang com atau exe. *Virus Direct Action*, virus ini akan masuk ke memori untuk menjalankan file lainnya, lalu menjalankan program lain

untuk menipu. *Multi Partition Virus*, merupakan gabungan dari virus boot sector dan virus file. *Polymorphic virus*, virus dirancang untuk mengelabui program antivirus, yaitu dengan mengubah struktur dirinya setelah menjalankan perintah. *Stealth virus*, mengendalikan instruksi-instruksi level DOS dengan menguasai tabel interrupt. *Macro virus*, ditulis oleh bahasa pemrograman dari suatu aplikasi, sehingga bersifat platform independent.

Karakteristik Virus umumnya mempunyai struktur yang hampir sama, dan dapat dibedakan menjadi beberapa kode, yaitu : (Shadewa, 2007) kode penanda virus, kode penggandaan virus, kode pertahanan dan penyembunyian deteksi, kode pemicu, dan kode manipulasi. Kode penanda virus, setiap virus pasti mempunyai identitas masing-masing. Bisa dibuat dengan karakter atau jumlah byte tertentu sebagai marker sesuai dengan keinginan si pembuat. Contoh, virus A mempunyai penanda X, dan virus B mempunyai penanda Y, maka virus-virus tersebut akan dikenali antivirus sesuai penandanya. Kode penggandaan virus, suatu program tidak dapat dikatakan virus jika tidak dapat menggandakan dirinya. Banyak cara atau jurus untuk menggandakan diri yang digunakan oleh virus-virus sekarang ini. Kode pertahanan dan penyembunyian deteksi, kode ini diperlukan virus untuk mengecoh antivirus, bisa dengan mengenkripsi file virus tersebut, menyembunyikan proses kerja pada komputer korban, ataupun menampilkan pesan pengalihan ketika user mencoba menjalankan program antivirus. Kode pemicu, setiap virus mempunyai program atau kode untuk mengaktifkan program utamanya. Program atau kode ini bisa dipicu dengan bermacam-macam cara, contohnya virus diaktifkan ketika user membuka file tertentu pada jendela Explorer. Atau dengan memakai nama file yang sedang populer dan menarik perhatian user untuk menjalankan file tersebut. Kode manipulasi, kode ini berguna untuk menghapus file, menjalankan aplikasi tertentu untuk mencuri dan mengirimkan data ke sebuah email. Batasan manipulasi

terserah kepada pembuatnya, karena hal inilah maka virus dikategorikan dalam program yang bersifat merusak.

Cara kerja sebuah virus diterangkan sebagai berikut : Setelah program virus diklik oleh user, maka virus akan menjalankan proses, kemudian virus menjalankan kode pertahanan diri, yaitu dengan menyembunyikan proses yang terjadi di komputer, selanjutnya virus akan menjalankan kode penggandaan diri yaitu dengan mencari file berekstensi tertentu, seperti .exe, .jpg, .doc, dan lain-lain. Selanjutnya virus akan memeriksa apakah file tersebut ada kode penandanya, jika file tersebut tidak ada kode penandanya maka virus akan menginfeksi file yang sehat tersebut, atau menyisipkan kode virus, kemudian virus akan mencari file yang belum terinfeksi, sedangkan jika virus tidak menemukan penanda pada file yang dicari, maka virus akan mencari file selanjutnya yang belum terinfeksi. Kemudian virus akan menjalankan kode manipulasi, misalnya menghapus data, atau menjalankan kode penggandaan diri lagi, setelah kode tersebut dijalankan, virus akan mengerjakan kode pertahanan kembali, yaitu dengan cara mengenkrip file virus untuk menyembunyikan diri dari pendeteksian antivirus.

Batch file merupakan salah satu program yang dapat diakses dan dijalankan secara langsung oleh sistem Windows tanpa bantuan program pendukung lainnya. Batch file ini memiliki ekstensi file .bat. Selain batch file, windows juga dapat mengeksekusi program yang berekstensi .com, .exe, dan lain sebagainya.

Perintah-perintah yang dipahami oleh batch file adalah perintah-perintah yang sifatnya internal maupun eksternal pada DOS (cmd.exe pada Windows). Perintah internal adalah perintah yang dapat dieksekusi secara langsung tanpa adanya program tambahan. Sedangkan perintah eksternal adalah suatu perintah yang membutuhkan program tambahan untuk bisa menjalankannya, seperti attrib.exe, format.com, dan lain sebagainya. Jadi batch file mampu mengeksekusi perintah command prompt dengan sekali eksekusi saja. Berikut

beberapa contoh perintah internal dan eksternal yang ada dalam DOS.

Tabel 1. Contoh Perintah Internal DOS

No.	Perintah	Fungsi
1	Cls	Membersihkan layar
2	Cd	Memanggil direktori
3	Dir	Menampilkan isi direktori atau drive
4	Copy	Menyalin file
5	Del	Menghapus file
6	Ren	Mengganti nama file
7	Md	Membuat direktori baru
8	Rd	Menghapus direktori
9	Date	Menampilkan dan mengatur tanggal
10	Time	Menampilkan dan mengatur waktu
11	Echo	Mencetak string

Tabel 2. Contoh Perintah Eksternal DOS

No.	Perintah	Fungsi
1	Format	Memformat partisi atau drive
2	Unformat	Merecover partisi atau drive yang terformat
3	Undelete	Merecover file yang terhapus
4	Attrib	Mengatur atribut file
5	Edit	Membuat atau mengedit file
6	Label	Menentukan label disk
7	Tree	Menampilkan direktori beserta sub-subnya
8	Deltree	Menghapus direktori beserta sub-subnya
9	Xcopy	Menyalin satu direktori utuh
10	Chkdsk	Melakukan pengecekan pada disk
11	Scandisk	Mendiagnosa permasalahan pada disk
12	Move	Memindahkan file

Registry windows merupakan ruang kontrol utama dari sistem operasi Windows. Hal ini dikarenakan registry merupakan basis data pusat pengaturan atau konfigurasi Windows serta informasi dari segala hal yang ada di dalam komputer, mulai dari hardware yang terpasang, port-port yang digunakan, software yang terinstal, hingga informasi seputar pengguna lain juga terekam secara rapi dalam basis data tersebut. Semua isi registry tersebut dapat dimodifikasi melalui jendela Registry Editor.

Isi dari registry secara umum terdiri dari dua unsur, yaitu Hive dan Value Entry. Hive merupakan sarang atau cabang utama dari registry yang berfungsi menangani kasus-kasus tertentu. Umumnya dalam registry

terdapat 5 macam hive, yaitu : HKEY_CLASSES_ROOT, merupakan Subkey dari HKEY_LOCAL_MACHINE\Software. Biasa digunakan untuk mengatur file asosiasi ketika membuka suatu file melalui Windows Explorer. HKEY_CURRENT_USER, yang akan digunakan untuk menyimpan informasi konfigurasi dari user yang sedang aktif saat ini, dan merupakan subkey dari HKEY_USERS. Pada key ini dapat dilakukan pengaturan yang diantaranya adalah pengaturan seputar Folder, Control Panel, Windows Explorer, dan tampilan layar yang digunakan oleh user tersebut. HKEY_LOCAL_MACHINE, berisi informasi seputar hardware, software, dan lain sebagainya yang terpasang dan berhubungan dengan Windows. Key ini berlaku untuk semua aplikasi user. HKEY_USERS, merupakan induk dari HKEY_CURRENT_USER. Fungsinya adalah menyimpan informasi semua user yang ada di komputer tersebut. HKEY_CURRENT_CONFIG, memuat informasi seputar profile hardware yang digunakan pada suatu komputer.

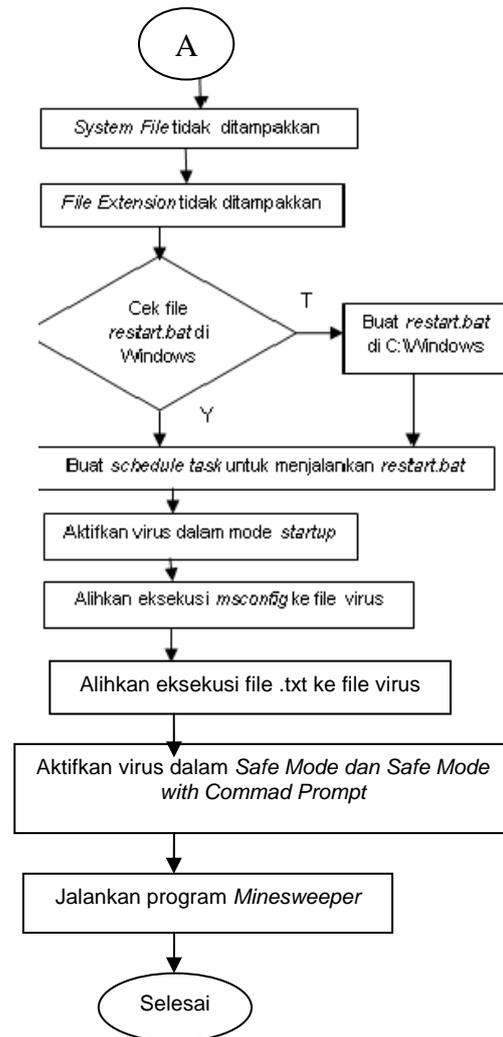
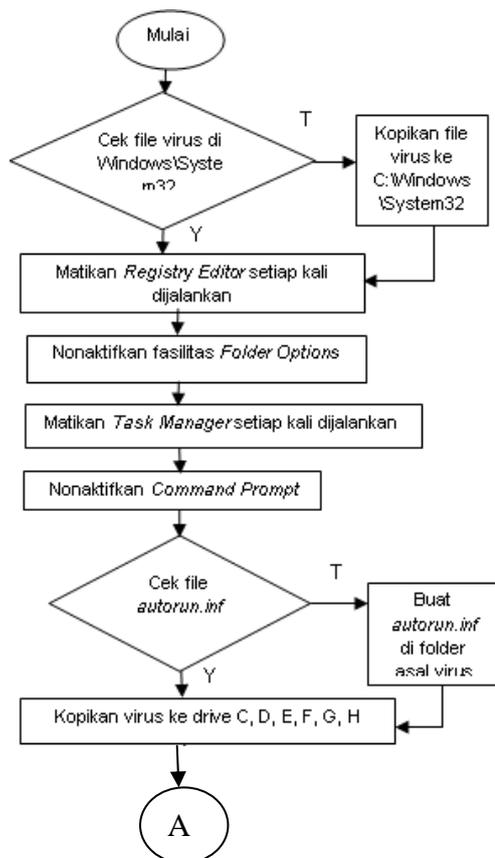
Value Entry, merupakan nilai yang dapat berfungsi sebagai sebuah perintah yang biasanya digunakan untuk melakukan aksi atau manipulasi tertentu. Value entry terdiri dari 3 bagian, yaitu : DWORD value (REG_DWORD), merupakan data dengan nilai 4 bytes. Namun nilai yang sering dipakai dalam DWORD value adalah nilai boolean, yaitu 1 (benar) dan 0 (salah). String value (REG_SZ), merupakan jenis karakter biasa atau string standard yang umum digunakan oleh manusia. Binary value (REG_BINARY), merupakan data atau nilai mentah, seperti nilai yang dapat dipahami oleh komputer, yaitu biner. Informasi seputar hardware diletakkan sebagai data biner, namun pada Registry Editor dapat dilihat dalam format Hexadecimal.

METODE

Virus batch dikonversikan menjadi file .exe, dengan menggunakan icon file gambar (icon file JPG), bukan icon file aplikasi. Hasil akhir akan diberi nama file virusku.exe. Algoritma virus batch

sederhana sebagai berikut: Kopikan diri sendiri ke folder Windows\System32. Matikan Regedit. Nonaktifkan Folder Options. Matikan Task Manager. Nonaktifkan Command Prompt. Buat file autorun.inf. Kopikan diri sendiri dan file autorun.inf ke drive C, D, E, F,G, H. Sembunyikan file-file yang memiliki atribut System File. Sembunyikan File Extension. Buat file restart.bat di direktori C:\Windows. Buat Schedule Task untuk menjalankan file restart.bat setiap 2 menit. Aktifkan virus dalam mode StartUp. Alihkan eksekusi msconfig ke file virus. Alihkan eksekusi file *.txt ke file virus. Aktifkan virus dalam Safe Mode dan Safe Mode With Command Prompt. Jalankan game Minesweeper bawaan Windows. Konversikan file contoh3.bat menjadi file virusku.exe.

Flowchart pembuatan virus batch dengan nama virusku, terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Virus Batch

PEMBAHASAN

Implementasi dari diagram alir dan algoritma pembuatan virus batch adalah sebagai berikut: Kopikan diri sendiri ke folder Windows\System32. Sebelumnya periksa terlebih dahulu keberadaan diri sendiri di folder Windows\System32. Jika belum ada, kopikan diri sendiri ke folder tersebut dengan perintah : *If not exist C:\Windows\system32\ virusku.exe copy virusku.exe C:\Windows\system32*

Matikan Regedit, yang akan digunakan metode yang berbeda, jadi bukan lagi melakukan bloking pada program registry editor, tetapi langsung menutup program registry editor setiap kali dijalankan. Sehingga registry editor

.txt dijalankan, maka yang terbuka bukanlah notepad, melainkan file virus.

```
REG ADD HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Explorer\FileExts\txt /v Application /t REG_SZ /d "%SystemRoot%\system32\virusku.exe" /f
```

Aktifkan virus dalam Safe Mode dan Safe Mode With Command Prompt. Hal ini bertujuan agar virus bisa tetap jalan di Safe Mode. Untuk Safe Mode sebagai berikut:

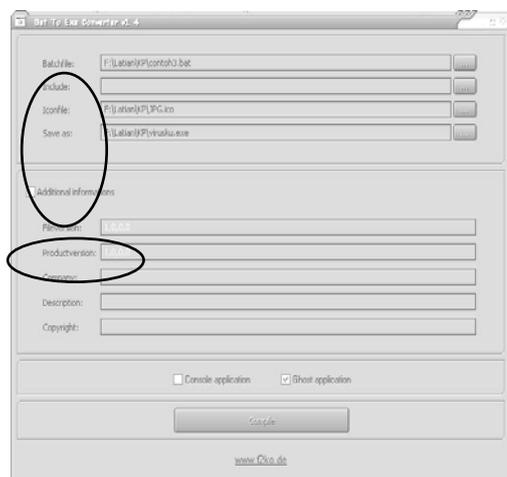
```
REG ADD "HKLM\Software\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Winlogon" /v Shell /t REG_SZ /d "Explorer.exe, C:\Windows\System32\virusku.exe" /f
```

sedangkan untuk Safe Mode With Command Prompt sebagai berikut:

```
REG ADD HKLM\System\ControlSet001\Control\SafeBoot /v AlternateShell /t REG_SZ /v C:\Windows\System32\virusku.exe /f
```

Jalankan game Minesweeper bawaan Windows. Sebenarnya ini hanya digunakan sebagai penanda bahwa virus sudah dijalankan. Konversikan file contoh3.bat menjadi file virusku.exe. Proses ini dilakukan setelah virus jadi.

Langkah selanjutnya mengkonversi file .bat menjadi .exe, yaitu melakukan konversi agar file contoh3.bat dapat menjadi file virusku.exe, sesuai dengan algoritma. Proses ini nantinya akan menggunakan software untuk membuat konversi file *.bat menjadi *.exe, salah satunya yang sudah digunakan disini adalah Bat to EXE Converter v1.4. Pemilihan untuk menggunakan software Bat to EXE Converter dikarenakan langkah pengoperasiannya yang sangat mudah sekali.

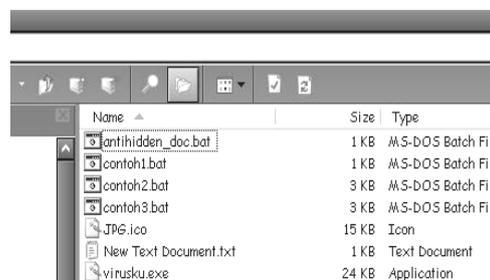


Gambar 2. Bat to Exe Converter

Pada Gambar 2 terlihat ada empat field di bagian atas merupakan bagian inti yang digunakan untuk proses konversi ini, yaitu: Batchfile, tempat untuk menentukan file .bat yang akan dikonversi. Include, tempat untuk menentukan file apa saja yang disertakan dalam file .exe hasil dari proses konversi. Iconfile, tempat untuk menentukan icon apa yang akan digunakan untuk file .exe hasil konversi. Save as, untuk menentukan nama file .exe hasil konversi. Di bagian bawah ada bagian Additional Informations, untuk berbagai keterangan dari file .exe hasil konversi.

Kemudian yang paling penting untuk sebuah program virus, pilihan fitur yang terletak di atas tombol Compile, yaitu Ghost Application. Virus tentu saja tidak ingin diketahui aktivitasnya, maka saat proses konversi digunakan pilihan Ghost Application, agar tidak muncul jendela konfirmasi maupun keterangan saat file virus nantinya dijalankan.

Setelah proses konversi selesai, akan terbentuk file baru yang bernama virusku.exe, yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Konversi file .bat

Pada Gambar 4 terlihat ada file virusku.exe dengan icon gambar (icon file JPG). Contoh virus ini filenya berbentuk exe file, atau memiliki ekstensi .exe, biasanya tipe file aplikasi. Saat file virusku.exe dijalankan atau dieksekusi akan muncul jendela game Minesweeper bawaan Windows.

Tahap terakhir yang dilakukan adalah mengkonversi file virus agar mudah membaur dan dapat mengelabui user. Pada contoh ini digunakan icon file jpg. Sebenarnya bisa juga menggunakan icon-icon lain, hanya saja nantinya akan

mempengaruhi besarnya file virus yang dihasilkan.



Gambar 4. Minesweeper

KESIMPULAN

Contoh virus batch sederhana yang telah dibuat dan diujikan ke dalam sistem operasi Windows, ternyata bisa dikatakan cukup berhasil, hanya dengan menggunakan file Batch sebagai media pemrogramannya, dan perintah-perintah yang bahasa pemrogramannya cukup sederhana, bisa jadi virus yang cukup berbahaya, tetapi semuanya itu tergantung dari kreatifitas si *virus maker*.

Isi dari file virus juga tidak terlalu banyak, hanya beberapa baris perintah saja sudah bisa merepotkan korban. Untuk virus batch ini ukuran filenya relatif lebih kecil.

Dan dapat dilihat yang menjadi sasaran penyerangan sebagian besar adalah registry Windows, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk melakukan penyerangan ke file-file yang ada, misal file dokumen, gambar, dan lain-lain, yang bisa menyebabkan file-file tersebut tidak dapat digunakan, menghilang, dan lain sebagainya.

Pengembangan yang dapat dilakukan dari penelitian virus batch sederhana ini adalah membuat antivirusnya, sehingga selain mengetahui seluk beluk virus batch juga dapat menangkal virus tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Mufadhol, 2008, Meningkatkan Kesadaran dan Pengenalan terhadap Virus Komputer, Jurnal Transformatika, volume 6, No. 1 Juli 2008, halaman 17 – 25, www.isjd.lipi.go.id/admin/jurnal/61081826.pdf, diakses tanggal 6 Maret 2012.
- Rafrastara, Fauzi Adi., 2007, *Belajar Membuat Virus Komputer Mulai dari NOL*, Neomedia Press, Semarang.
- Shadewa, Aat. 2007, *Seni Pemrograman Virus Menggunakan Visual Basic 6.0*, DSI Publishing, Yogyakarta.
- Suhandi, N., 2009, Pengembangan Antivirus Songket untuk Virus H1N1 dengan Metode Behavior Blocking Detection, Jurnal generic, volume 4, No. 2 Juli 2009, halaman 19 – 22, uppm.ilkom.unsri.ac.id/userfiles/JurnalVol4No2Juli20094Nazori.pdf, diakses tanggal 7 Maret 2012.

PENGARUH WAKTU KONTAK DAN UKURAN ADSORBEN TERHADAP PEMURNIAN BIOETANOL DARI KULIT NANAS

Harimbi Setyawati¹, Nanik Astuti Rahman², Solekah³

^{1,2,3}Jurusan Teknk Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang

Masuk: 2 Oktober 2011, revisi masuk : 17 Januari 2012, diterima: 29 Januari 20112

ABSTRACT

The use of food as an alternative feedstock fuels, bioethanol, can threaten food security if not done wisely in its management. To cope with that then developed the fermentation of food waste that still contain carbohydrates, in this study used pineapple rinds juice as raw material for bioethanol. Ethanol produced still contains a little ethanol, despite the rise of distilled ethanol does not increase levels of purification process that takes another alternative, namely adsorption. Adsorbent used is a synthetic zeolite. From the results showed that the adsorption process can be increased ethanol content.

Key words : pineapple rinds juice, Saccharomyces cereviceae, ethanol

INTISARI

Penggunaan bahan pangan sebagai bahan baku bahan bakar alternative, bioetanol, dapat mengancam ketersediaan pangan jika tidak dilakukan secara bijak dalam pengelolaannya. Untuk menanggulangi hal itu maka dikembangkan proses fermentasi terhadap limbah pangan yang masih mengandung karbohidrat, dalam penelitian ini digunakan limbah kulit nanas sebagai bahan baku bioetanol. Etanol yang dihasilkan masih mengandung sedikit etanol, meskipun telah dilakukan destilasi bertingkat tidak mampu meningkatkan kadar etanolnya sehingga diperlukan alternative proses pemurnian lain, yaitu adsorpsi. Adsorben yang digunakan adalah zeolit sintesis. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan proses adsorpsi kadar etanol dapat ditingkatkan.

Kata kunci : sari kulit nanas, etanol, adsorpsi

PENDAHULUAN

Bioetanol secara umum dapat digunakan sebagai bahan baku industri turunan alkohol, campuran bahan bakar untuk kendaraan. Grade bioetanol harus berbeda sesuai dengan penggunaanya. Bioetanol yang mempunyai grade 90% - 96,5% volume digunakan pada industri, grade 96% - 9,5% digunakan dalam campuran untuk minuman keras dan bahan dasar industri farmasi. Besarnya grade bioetanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan harus betul – betul kering dan anhydrous supaya tidak menyebabkan korosi, sehingga bioetanol harus mempunyai grade sebesar 99,5% -100% (Khairani, 2007).

Bioetanol yang digunakan sebagai bahan bakar mempunyai

beberapa kelebihan, diantaranya lebih ramah lingkungan, karena bahan bakar tersebut memiliki nilai oktan 92 lebih tinggi dari premium nilai oktan 88, dan pertamax nilai oktan 94. Hal ini menyebabkan bioetanol dapat menggantikan fungsi zat aditif yang sering ditambahkan untuk memperbesar nilai oktan. Zat aditif yang banyak digunakan seperti metal tersier butil eter dan Pb, namun zat aditif tersebut sangat tidak ramah lingkungan dan bisa bersifat toksik. Bioetanol juga merupakan bahan bakar yang tidak mengakumulasi gas karbon dioksida (CO₂) dan relatif kompetibel dengan mesin mobil berbahan bakar bensin. Kelebihan lain dari bioetanol adalah pada cara pembuatannya yang sederhana yaitu fermentasi dengan menggunakan

mikroorganisme tertentu (Mursyidin, 2007).

Bahan baku pembuatan bioetanol ini dibagi menjadi tiga kelompok yaitu bahan bersukrosa, bahan berpati, dan bahan berselulosa. Penggunaan bahan-bahan tersebut sebagai bahan baku bioetanol sudah banyak dilakukan. Diantaranya sari buah-buahan, ubi kayu, ubi jalar dan lain-lain. Penggunaan bahan pangan tersebut sebagai bahan baku bioetanol dapat mengancam ketersediaan bahan-bahan pangan jika tidak dilakukan dengan arif dan bijaksana dalam pengelolaannya. Sementara ini, untuk menghindari masalah tersebut dicari alternative lain, yaitu limbah dari bahan pangan yang masih mengandung kandungan bahan karbohidrat. Diantaranya adalah limbah kulit nanas. Menurut Thammasat Int (2001), kulit nanas mengandung 89 % air; 1,4 % glukosa; 0,5 fruktosa; 3,1 % sukrosa; sellulosa 1,8 %; hemisellulosa 2,6 %; lignin 0,4 %; dan lain-lain 1,2 %. Pada penelitian terdahulu, Setyawati (2011), berhasil mensintesa bioetanol dari kulit nanas, tetapi kadar bioetanol yang dihasilkan masih sangat rendah yaitu 3,9%. Pemurnian yang dilakukan adalah destilasi bertingkat, tetapi ini tidak juga mampu menaikkan angka kemurniannya. Untuk itu perlu adanya alternative lain pemurnian bioetanol, yaitu dengan adsorpsi.

Tahiya Johan dkk,(2010) telah melakukan penelitian tentang pemurnian bioetanol dengan adsorpsi menggunakan adsorben zeolit. Hasil yang didapatkan adalah adanya pengaruh waktu kontak dan ratio adsorben dan bioetanol. Waktu kontak terbaik antara adsorben dan bioetanol selama 30 menit dan ratio adsorben : bioetanol adalah 0,35.

Dari uraian diatas maka pada penelitian ini difokuskan pada pemurnian bioetanol dari kulit nanas menggunakan adsorben zeolit. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh waktu kontak dan ukuran adsorben pada proses pemurnian bioetanol.

METODE

Material yang digunakan pada penelitian adalah limbah kulit nanas dari

jenis Queen, sebagai nutrisi ditambahkan urea. Sintesis bioetanol dari kulit nanas diadopsi dari penelitian yang dilakukan Setyawati dkk (2011).

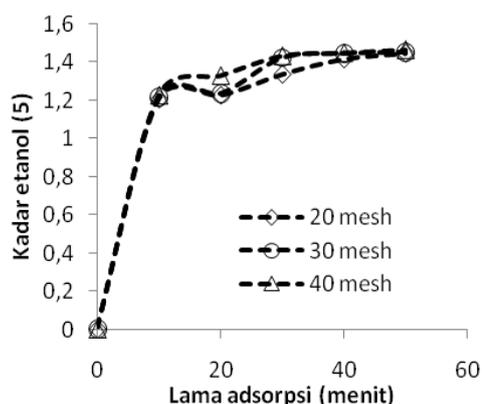
Adsorben yang digunakan adalah zeolit sintesis dengan variasi waktu kontak dan ukuran adsorben. Pada proses ini zeolit sintesis diaktivasi dengan dipanaskan pada suhu 120 °C. Proses adsorpsi berlangsung secara kontinu pada rate yang ditetapkan. Analisa dilakukan untuk sampel yang diambil pada berbagai variasi waktu kontak dan ukuran adsorben.

Hasil proses fermentasi dan proses adsorpsi dianalisa dengan menggunakan GC.

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini pengukuran pH dilakukan pada awal fermentasi dan akhir fermentasi. Hasil pengukuran pH awal dan akhir fermentasi tidak ada perubahan, sehingga pada fermentasi ini tidak diperlukan pengaturan pH. Suhu fermentasi pada awal dan akhir fermentasi juga tidak mengalami perubahan, sehingga pengaturan suhu juga tidak diperlukan. Proses fermentasi dilakukan secara anaerob, yaitu proses fermentasi tanpa memerlukan oksigen. Tetapi fermentor pada penelitian kali ini memiliki ruang kosong yang cukup banyak, sehingga memungkinkan untuk ditempati oksigen. Banyaknya ruang kosong fermentor yang dapat ditempati oksigen menyebabkan bakteri-bakteri mikroba berkembangbiak sehingga fermentasi berjalan lambat. Hal inilah yang menyebabkan konversi glukosa ke etanol sangat kecil. Hasil analisa menunjukkan kadar glukosa awal sari kulit nanas sebesar 8.04%, sedangkan kadar glukosa setelah fermentasi adalah 7.56 %. Dari hasil analisa menggunakan GC didapatkan kadar etanol sebesar 1.18%, hasil ini yang kemudian akan dilakukan pemurnian dengan adsorpsi. Grafik 1, menunjukkan bahwa kadar etanol tertinggi diperoleh pada percobaan menit ke 50 pada masing-masing ukuran adsorbent dengan kadar etanol sebesar 1.445%, 1.453%, dan 1.467%. Dan hasil etanol terendah diperoleh pada percobaan menit ke 10

pada masing-masing ukuran adsorbent dengan kadar etanol sebesar 1.205%, 1.217%, dan 1.228%. Hal ini sesuai dengan teori bahwa lama waktu kontak memiliki pengaruh terhadap jumlah air yang dapat diserap oleh adsorbent.



Gambar 1. Hubungan lama adsorpsi terhadap kadar etanol yang dihasilkan

Menurut literatur semakin lama waktu kontak, maka semakin banyak air yang diserap. Hal ini karena waktu kontak yang terjadi semakin lama, sehingga proses transfer massa air ke dalam adsorbent juga semakin banyak. Tetapi ketika mencapai titik jenuhnya, laju adsorpsi akan menurun seiring bertambahnya waktu (Putro, dkk, 2010).

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa kadar etanol tertinggi diperoleh pada percobaan mesh 40 dengan waktu adsorpsi 50 menit dengan kadar etanol 1.467%, dan kadar etanol terendah diperoleh pada percobaan mesh 20 dengan waktu 10 menit dengan kadar etanol sebesar 1,205%. Hal ini sesuai dengan teori bahwa ukuran partikel adsorbent sangat berpengaruh terhadap kemurnian etanol. Menurut literature semakin kecil ukuran partikel adsorbent maka semakin luas permukaan adsorbent. Karena semakin banyak luas permukaan maka kontak etanol dengan adsorbent semakin banyak, sehingga air banyak yang terserap dan adsorpsi dapat berjalan dengan optimal. Selain itu, semakin kecil ukuran partikel adsorbent, maka semakin besar kecepatan adsorpsinya (Prayitno, dkk., 2009).

Pada penelitian kali ini etanol yang dihasilkan sangat kecil. Hal ini disebabkan karena kadar gula dari nanas hanya 8,043% dan tidak memenuhi standar untuk fermentasi bahan etanol. Menurut Judoamidjojo dkk (1992), konsentrasi gula yang umumnya dibuat dalam pembuatan etanol yakni sekitar 14% - 18%.

Pemurnian etanol dengan zeolit digunakan untuk proses dehidrasi adsorpsi. Proses dehidrasi adsorpsi merupakan proses lanjutan dari proses destilasi. Dimana pada proses destilasi kemurnian etanol yang diperoleh 96% dan tidak bisa meningkat lagi, karena titik azeotrop campuran air – etanol 96%. Pada kondisi azeotrop campuran air – etanol sulit dipisahkan dengan metode destilasi. Untuk mencapai bioetanol feul grade (>99%) harus dilakukan pemurnian lanjutan yaitu dengan proses dehidrasi adsorpsi (dehidrasi *molekular sieve*) karena proses ini dapat menghilangkan air hingga kadar etanol menjadi 99,5% dan dihasilkan etanol absolute (Sjahrul Bustman, 2010).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran adsorbent dan waktu kontak berpengaruh terhadap kualitas etanol yang dihasilkan dari sari kulit nanas. Kadar etanol tertinggi diperoleh pada percobaan 40 mesh dengan waktu kontak 50 menit sebesar 1.467%. Sehingga belum dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar, karena kandungan etanolnya sangat kecil tidak memenuhi syarat bahan bakar yaitu > 99%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bustaman, Sjahrul, 2010, *Kebijakan Pengembangan Bahan Bakar Nabati (bioetanol) Di Maluku*, Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian Indonesia Center of Agricultural Technology Assesment and Development, Bogor.

- Harimbi S, NA Rahman, 2011, *Sintesa Ethanol Dari Kulit Nanas Dengan Variasi Massa Ragi dan Waktu Fermentasi*, Jurnal Teknik Kimia, Vol. 6. No.1 (2011) UPNV Jatim.
- Judoamidjojo, M., Abdul A.D., Endang G.S. 1992. *Teknologi Fermentasi*. Jakarta: Rajawali Press
- Prayitno, Umi S, 2009, *Penentuan Kecepatan Adsorpsi Boron Dalam Larutan Zirkonium Dengan Zeolit*, Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, STTN BATAN, Yogyakarta, ISSN 1978 – 0176.
- Putra, ANH, Sherviena A.A, 2010, *Proses Pengambilan Kembali Bioetanol Dengan Metode Adsorpsi Hidrofobik*, Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tahiya, Johan, 2010, *Pemurnian Etanol Berbahan Baku Sopi Mayang (Arenga piñata Merr) Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Molekular Sieves Zeolit 3A*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Thammasat Int. J. Sc. Tech. 2001. *Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Pineapple Cannery Wastes*. Tersedia pada http://www.tijsat.tu.ac.th/issues/2001/no2/2001_V6_No2_1.PDF (April 2011)

PENJADWALAN PRODUKSI PADA SISTEM MANUFAKTUR *REPETITIVE MAKE TO ORDER FLOW SHOP* MELALUI PENDEKATAN *THEORY OF CONSTRAINTS*

Imam Sodikin¹, Aang Mashuri²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 14 Oktober 2011, revisi masuk: 3 Januari 2012, diterima: 15 Januari 2012

ABSTRACT

PT. Jaya Pulau Bintan, Bangka is a company that produces rubber in the form of semi-finished materials. Companies experiencing difficulties in meeting consumer demand is continuous, because the rubber product manufacturing process is very complicated and time consuming. The research method used in addressing the problems the company is the method of scheduling a flow shop with the approach of theory of constraint in repetitive manufacturing systems make to order. The result of data processing by using 2 production scheduling system, namely FCFS scheduling with makespan yield of 18.96 days. While the TOC scheduling with makespan obtained by 16.02 days in order to obtain savings of 2.94 days. Scheduling production with the TOC proposed because it has a greater throughput and successfully utilize the resources constraints, especially at work stations more effectively and efficiently.

Keywords: *Theory Of Constraints, Make To Order, Production Scheduling*

INTISARI

PT. Pulau Bintan Jaya, Bangka adalah perusahaan yang memproduksi karet berupa bahan setengah jadi. Perusahaan mengalami kesulitan dalam memenuhi permintaan konsumen secara kontinu, karena proses pembuatan produk karet sangatlah rumit dan memakan waktu lama. Metode penelitian yang digunakan dalam mengatasi permasalahan perusahaan tersebut yaitu metode penjadwalan produksi *flow shop* dengan pendekatan *theory of constraint* pada sistem manufaktur *repetitive make to order*. Hasil pengolahan data penjadwalan produksi dengan menggunakan 2 sistem penjadwalan, yaitu penjadwalan dengan FCFS memberikan hasil makespan sebesar 18,96 hari. Sedangkan penjadwalan dengan TOC diperoleh makespan sebesar 16,02 hari sehingga diperoleh penghematan sebesar 2,94 hari. Penjadwalan produksi dengan TOC diusulkan karena mempunyai *throughput* yang lebih besar dan berhasil memanfaatkan sumber daya terutama di stasiun kerja konstrain dengan lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: Teori kendala, Produksi berdasarkan pesanan, Jadwal produksi

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur dewasa ini mengarah kepada sistem manufaktur yang menghasilkan jenis produk yang bervariasi dengan kuantitas produk per jenis yang semakin kecil. Spesifikasi produk cenderung menyesuaikan dengan keinginan pelanggan. Siklus hidup produk pun cenderung semakin singkat, dan ini menyebabkan perusahaan harus bekerja dengan *lead time* yang lebih singkat agar tetap kompetitif dan terjaga kelangsungan hidup-

nya. Sistem manufaktur saat ini menunjukkan kecenderungan perubahan jenis sistem dari sistem MTS (*Make To Stock*) menjadi MTO (*Make To Order*) (Aswita, 2003). Perubahan kecenderungan sistem manufaktur dari MTS menjadi MTO membawa pergeseran pada tujuan perusahaan dari mencari keuntungan sebanyak-banyaknya ke arah pemuasan keinginan dan kebutuhan pelanggan pada tingkat keuntungan yang memadai (*reasonable*), pergeseran lain juga terjadi pada kebijakan manajemen produksi,

¹dikiam12@yahoo.com

dari pendekatan biaya (*cost world*) menjadi aliran *output* (*throughput world*).

Theory of Constraints (TOC) yang dikembangkan E. Goldratt (1997) dengan menggunakan dasar gabungan antara sistem dorong (*push system*) dan sistem tarik (*pull system*), mempunyai kemampuan untuk menyeimbangkan aliran produksi dalam suatu sistem produksi. Di samping itu juga penelitian yang dilakukan oleh Umble dan Srikanth, (1996) menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan sistem produksi dengan *Work In Process* (WIP) yang rendah dan *throughput* yang besar.

Penelitian ini dilakukan di PT. Pulau Bintang Jaya ini yang memproses karet alami menjadi bahan baku yang se-suai dengan standar internasional. Perusahaan ini berproduksi berdasarkan *order* yang diterima (*make to order*), dengan kebijakan *First Come First Serve* (FCFS) dalam merespon pesanan pelanggan. Kebijakan FCFS yaitu prioritas diberikan kepada *order* yang telah tiba dahulu di perusahaan karena perusahaan menekankan pada ketepatan dalam penyampaian *order* dan keadilan (*fairness*) dalam merespon setiap *order* pelanggan. Penerapan kebijakan ini mempunyai konsekuensi sering terjadi inefisiensi akibat mesin menganggur karena melakukan *setup* berulang-ulang (duplikasi), *setup* mesin terjadi bila produk selanjutnya yang akan diproses di stasiun konstrain berbeda dengan jenis produk yang sedang di proses di stasiun tersebut, dalam hal ini yang menjadi stasiun konstrain adalah divisi pengeringan (*drying devision*). Pada divisi pengeringan terjadi antrian produk yang menunggu untuk diproses dan memiliki waktu proses paling lama, sehingga dengan terjadinya inefisiensi akan sangat berpengaruh pada produktivitas perusahaan secara keseluruhan. Akibat adanya inefisiensi yang terjadi di stasiun konstrain mengakibatkan *lead time order* mencapai lebih kurang dua kali waktu baku memproses *order* tersebut. Sehingga diperlukan cara yang tepat untuk meminimasi total *setup time* agar tidak dijumpai keterlambatan pada saat proses produksi berlangsung. Melalui pengembangan algoritma penjadwalan dengan

menggunakan algoritma Zijm dan algoritma *Branch and Bound* berdasarkan *Theory of Constraints* (TOC) pada sistem manufaktur *Make to Order* (MTO) repetitif dengan proses *flow shop*, diharapkan dapat meningkatkan utilitas di stasiun konstrain (*drying devision*) dengan meminimasi total *setup time*, memper-kecil *makespan* dan *work in process* di lantai produksi. Menentukan saat *release order* di stasiun konstrain, dan membandingkan performansi solusi sistem penjadwalan yang diusulkan dengan sistem penjadwalan aktual di perusahaan.

Pengertian Sistem Manufaktur Istilah manufaktur banyak digunakan di kalangan industri dan akademis, namun pengertian manufaktur masih rancu hingga saat ini. Pengertian mengenai manufaktur cukup jelas dikemukakan oleh Arya (2004): a).Manufaktur (*manufacturing*) ini adalah kumpulan operasi dan aktivitas yang saling berhubungan untuk membuat suatu produk, meliputi: Perancangan produk, pemilihan material, perencanaan proses, perencanaan produksi, produksi, inspeksi, manajemen, dan pemasaran. b).Produksi (*manufacturing production*) adalah serangkaian proses yang dilakukan untuk membuat produk. c).Proses produksi manufaktur (*manufacturing process*) adalah aktivitas sistem manufaktur terkecil yang dilakukan untuk membuat produk, yaitu proses permesinan maupun proses pembentukan lainnya. d).Rekayasa manufaktur (*manufacturing engineering*) adalah kegiatan perancangan, operasi, dan pengendalian proses manufaktur. e).Sistem manufaktur (*manufacturing system*) adalah suatu organisasi yang melaksanakan berbagai kegiatan manufaktur yang saling berhubungan, dengan tujuan menjembatani fungsi produksi dengan fungsi-fungsi lain di luar fungsi produksi, agar dicapai performansi produktivitas total sistem yang optimal, seperti: waktu produksi, ongkos, dan utilitas mesin. Aktivitas sistem manufaktur termasuk perancangan, perencanaan, produksi, dan pengendalian. Fungsi lain di luar sistem manufaktur, yaitu: akuntansi, keuangan, dan personel.

Sistem manufaktur juga dapat dibagi berdasarkan bentuk proses pro-

duksi atau sistem produksinya. Arya (2004) membagi sistem produksi menjadi 3 sistem produksi antara lain:

Flow Sho, sistem produksi yang menyusun mesin-mesin berdasarkan urutan pemrosesan (*routing*) produk, sehingga sering disebut dengan istilah tata letak produk (*product layout*). Aliran dalam pemrosesan produk mulai dari material hingga produk jadi adalah searah, menurut arah aliran tertentu. Sistem produksi ini dibagi lagi menjadi 3 sistem : 1). *Continuous Flow Shop*, sistem produksi yang umumnya digunakan untuk memproduksi atau memproses material cair, bahan kimia, dan pengilangan minyak. 2). *Dedicated Repetitive Flow*, sistem produksi yang memproduksi satu jenis produk tertentu secara terus-menerus, namun masih diijinkan untuk adanya variasi, seperti variasi warna. Karakteristik khusus dari sistem produksi ini adalah material akan diproses di beberapa stasiun kerja yang melakukan berbagai proses produksi dengan waktu proses yang hampir sama. Peralatan di setiap stasiun kerja dikhususkan untuk melakukan satu atau beberapa dari proses tertentu. 3). *Mixed Model Repetitive Flow*, sistem produksi yang digunakan untuk memproses beberapa produk sekaligus. Namun waktu *setup* untuk berubah dari produk yang satu ke produk yang lain hampir tidak ada. Karena terjadi proses produksi untuk beberapa produk sekaligus, maka peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang relatif umum dan pekerja yang mampu mengerjakan beberapa tugas. 4). *Intermitten* atau *Batch Flow* Sistem produksi yang memproses dua atau tiga jenis produksi sekaligus. *Setup* mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk perubahan dari satu produk ke produk lainnya, sehingga perlu ditentukan ukuran *batch* produksi yang menghasilkan waktu proses per unit yang minimum.

Job Shop, sistem produksi yang mempunyai karakteristik mengorganisasikan sejumlah peralatan berdasarkan fungsinya. Proses yang dialami inio setiap produk dilakukan di setiap stasiun kerja berbeda-beda. Oleh karena itu, dari peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang umum. Peralatan disusun berdasarkan proses produksi yang dila-

kukannya sehingga sistem produksi ini sering dikenal mempunyai sistem tata letak berdasarkan (*process layout*).

Fixed Size, sistem produksi yang mempunyai karakteristik membawa material, peralatan, dan pekerja ke suatu lokasi tempat produk akan diproduksi, karena ukuran produk yang dihasilkan sangat besar. Contoh produk yang diproduksi dengan sistem produksi ini adalah kapal laut, pesawat terbang, dan jembatan.

Sistem Manufaktur MTO-repetitif, sistem manufaktur *Make to Order* (MTO) adalah sistem manufaktur yang beroperasi berdasarkan pesanan. Sistem manufaktur ini dibagi lagi menjadi MTO non-repetitif dan MTO repetitif. Beberapa parameter yang membedakan kedua sistem MTO, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan antara Sistem Produksi MTO Repetitif dan Non-Repetitif

	MTO Repetitif	MTO Non-Repetitif
Karakteristik pesanan	Pesanan berulang dalam waktu singkat	Pesanan tidak berulang atau berulang dalam jangka panjang
Tindakan untuk mengulang <i>setup</i>	Dilakukan dengan meningkatkan efisiensi <i>setup</i> dan mengatur <i>order</i> yang akan diproses	Dilakukan dengan meningkatkan efisiensi <i>setup</i>

Sumber: Charthy, 1993

Kedua sistem MTO ini umumnya memiliki sistem produksi *job shop*, agar bisa mengakomodasikan *order* dengan ukuran yang kecil dan spesifikasi setiap *order* yang berbeda. Akan tetapi, untuk beberapa sistem manufaktur MTO yang berperan sebagai sub-kontraktor dapat memiliki sistem produksi *flow shop*, karena adanya kesamaan proses dalam sistem *order* yang diterima, misalnya sub-kontraktor produk semi konduktor, perusahaan pembuat tirai aluminium untuk jendela rumah dengan berbagai ukurannya, dan pabrik pengolahan karet alami.

Sistem produksi *flow shop* umumnya merupakan sistem produksi untuk sistem manufaktur *make to stock* (MTS) yang cenderung untuk mempro-

produksi produk-produk dalam jumlah besar dan variasi yang sedikit. Pada sistem manufaktur MTS, peningkatan performansi stasiun kerja dilakukan dengan memperbaiki cara kerja yang dilakukan di setiap stasiun. Sistem manufaktur MTO dapat juga memiliki sistem produksi *flow shop*, tetapi peningkatan performansi stasiun kerja tidak hanya dilakukan dengan memperbaiki cara kerja melainkan juga dengan mengatur urutan *order-order* yang akan diproses. Parameter-parameter lain yang membedakan sistem MTO repetitif dengan sistem MTS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan antara Sistem Manufaktur MTO Repetitif *Flow Shop* dan *Make to Stock Flow Shop*

	MTO Repetitif <i>Flow Shop</i>	MTS <i>Flow Shop</i>
Respons terhadap fluktuasi <i>demand</i>	Memperkecil waktu penyelesaian	Mencari jumlah inventori yang sesuai
Persediaan produk jadi	Tidak ada (siklus pemesanan besar)	ada
Saat mulai proses produksi	Jika ada pesanan	Sesuai hasil peramalan
Jumlah yang diproduksi	Tergantung jumlah pesanan	Sesuai hasil perencanaan produksi
Perencanaan produksi	Perencanaan kapasitas	Perencanaan jumlah yang diproduksi

Sumber: Charthy, 1993

Sistem MTO repetitif memiliki sistem produksi *job shop*, apabila urutan pengerjaannya tidak mengikuti suatu aliran urutan pengerjaan tertentu, sedangkan sistem produksi *flow shop* diterapkan jika urutan pengerjaan setiap *order* mengikuti urutan pengerjaan tertentu. Sistem MTO repetitif *job shop* dengan urutan pengerjaan yang tidak mengikuti aliran tertentu mempunyai variasi urutan pengerjaan yang lebih tinggi dibandingkan MTO repetitif *flow shop*, sehingga perkiraan saat *order* akan diproses di stasiun kerja tertentu untuk MTO repetitif *job shop* akan relatif lebih kompleks dibandingkan dengan MTO repetitif *flow shop*.

Penjadwalan Produksi, selang waktu saat *order* berada pada sistem

produksi tidak semuanya digunakan melakukan proses. Menurut Toha (1997) *lead time* suatu produk dalam sistem produksi terdiri dari: a).Waktu tunggu sebelum proses produksi 75%, waktu proses 75%; b).Waktu antara proses dan Transportasi untuk inspeksi 7 %, waktu tunggu sebelum inspeksi 7%; c). Waktu inspeksi dan transportasi ke stasiun kerja akhir 2%, hambatan dalam produksi 3%.

Data tersebut menunjukkan hanya 6% waktu yang menghasilkan nilai tambah, sedangkan 94% lainnya berupa kegiatan yang tidak menghasilkan nilai tambah. Upaya untuk meningkatkan prosentase nilai tambah tersebut dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan penjadwalan produksi untuk setiap *order* yang diproses. Penjadwalan produksi didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber atau mesin untuk melakukan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu.

Proses penjadwalan produksi membutuhkan tiga informasi dasar untuk setiap *order*, (Suryati, 2000): a). *Processing time* (t_i) atau waktu proses, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk memberikan nilai tambah pada *order i*. b). *Ready time* (r_i) atau saat siap, yaitu saat paling awal *order i* dapat diproses oleh mesin. c). *Due date* (d_i) atau saat kirim, yaitu saat pengiriman *order* kepada konsumen.

Kriteria untuk mengevaluasi penjadwalan yang dilakukan telah banyak dikembangkan, antara lain oleh Toha (1997) yang menyatakan bahwa kriteria evaluasi penjadwalan adalah sebagai berikut : 1). *Completion time*, C_i atau saat selesai, yaitu saat penyelesaian operasi paling akhir suatu *order i*. 2). *Flow time*, $F_i = C_i - r_i$ atau waktu tinggal, yaitu waktu yang diperlukan oleh suatu *order i* berada di shop (disebut juga *shop time* atau *manufacturing interval*). 3). *Waiting*

time, $W_i = C_i - r_i - \sum_{j=1}^m t_{ij}$ atau waktu

tunggu, yaitu waktu menunggu antara waktu suatu proses selesai diproses sampai dimulai operasi berikutnya dari pengerjaan setiap operasi pada *order i*. 4). *Lateness*, $L_i = C_i - d_i$ yaitu waktu antara saat selesai dan *due date* (d_i) suatu *order i*. *Tardiness*, $T_i = \max \{0, L_i\}$ yaitu waktu keterlambatan saat selesai suatu

order *i*. Halim (1993) menunjukkan suatu kriteria lain untuk mengevaluasi penjadwalan yang sesuai dengan sistem penjadwalan mundur (*backward scheduling*), yaitu *actual flow time* $F_i^a = d_i - R_i$ atau waktu tinggal aktual. Waktu tinggal aktual adalah waktu yang diperlukan suatu *order* di *shop* mulai dari suatu *release* hingga *due date order* (Fogarty, 1998).

Kriteria-kriteria evaluasi penjadwalan tersebut digunakan sebagai parameter dalam pengambilan keputusan tujuan penjadwalan *forward*. Tiga jenis kriteria keputusan yang umumnya dipilih sebagai tujuan penjadwalan *forward* adalah (Arya, 2004): a). Efisiensi pemakaian sumber daya dengan mengurangi waktu mesin menganggur, yang dapat dilakukan dengan meminimasi maksimum saat selesai atau *completion time* (*makespan*), $C_{maks} = \max \{C_{ij}\} \forall 1$ responsif terhadap permintaan dengan mengurangi persediaan barang setengah jadi, dapat dilakukan dengan mengurangi rata-rata waktu tinggal (*flow time*) \bar{F} , atau mengurangi rata-rata waktu tunggu \bar{W} . b). Memenuhi batas waktu dan mengurangi keterlambatan, dengan cara minimasi rata-rata *tardiness*, T , minimasi *makespan tardiness*, T_{max} dan mengurangi jumlah *order* yang terlambat, N_t .

METODE

Tujuan-tujuan penjadwalan tersebut dengan tingkat optimalitas yang dibutuhkan dapat dicapai dengan mengembangkan berbagai metode penjadwalan. Metode penjadwalan yang telah dikembangkan, secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok berdasarkan metode komputasi penjadwalan, yaitu (Charty, 1993): a). Metode optimum yang efisien. Metode ini menghasilkan jadwal optimum dalam waktu yang relatif singkat. Algoritma yang dikembangkan biasanya untuk permasalahan yang tidak besar, termasuk dalam metode ini misalnya adalah algoritma Johnson. b). Metode optimal enumerative metode ini menghasilkan jadwal optimal berdasarkan formulasi matematis, diikuti oleh metode *Branch and Bound*, *Mixer Integer Linear Programming*, dan *Dyna-*

mic Programming. b). Metode Heuristik metode heuristik melakukan pendekatan suatu solusi optimal. Dasar pengembangan metode heuristik dikategorikan menjadi 3, yaitu : 1). Penjadwalan dilakukan setiap mesin selesai melakukan proses atau setiap pekerjaan datang mengantri. Contoh pendekatan ini adalah *priority rule*. 2). Mendefinisikan struktur *neighbourhood* dan solusi diperoleh berdasarkan struktur tersebut. Contoh pendekatan ini adalah *tabu search*, *simulated annealing*, dan *genetic algorithm*. 3) Penjadwalan dilakukan pada setiap mesin. Contoh pendekatan ini adalah *shifting bottleneck procedure*.

Pengendalian lantai produksi sangat diperlukan untuk memastikan *order-order* yang dijadwalkan dapat diproses sesuai jadwalnya. Pengendalian ini dilakukan antara lain dengan mengendalikan prioritas *release order*, manajemen panjang antrian, dan pengendalian keluar masuk *order*. Penentuan prioritas yang adil adalah dengan menggunakan metoda FCFS, karena *order* akan *dirlease* sesuai dengan urutan kedatangan *order* tersebut. Oleh karena itu, sistem penentuan prioritas ini sering digunakan oleh sistem manufaktur MTO yang selalu berusaha untuk menjaga keadilan dalam menentukan *order* yang akan diproses. Evaluasi terhadap cara-cara penentuan prioritas perlu dilakukan untuk menentukan efektivitas dari cara penentuan prioritas tersebut, yang dapat dilakukan dengan menggunakan kriteria berikut : a). Prosentase *order* yang tepat waktu sampai ke pelanggan. b). Rata-rata jumlah *order* yang terlambat. c). Rata-rata persediaan produk setengah jadi. d). Waktu *idle* (menganggur). e). Minimasi waktu *setup*. f). Efisiensi pemanfaatan energy.

Theory of Constraints, Optimized Production Technology (OPT) diperkenalkan secara luas oleh E. Goldratt (Arya, 2004) melalui bukunya *The Goal: A Process of Ongoing Improvement* yang ditulis pada tahun 1986. konsep OPT menekankan pada optimasi pemanfaatan stasiun konstrain, sehingga metoda ini juga dikenal dengan nama *Theory of Constraints (TOC)*. Metoda yang dikembangkan ini masih bersifat umum dan

logika berpikir dari metoda ini dapat diterapkan untuk memecahkan permasalahan dalam berbagai sistem, selain sistem produksi. Metoda ini menekankan untuk memaksimalkan *throughput* dengan persediaan dan biaya operasional yang minimum. *Throughput* didefinisikan sebagai aliran uang yang masuk ke perusahaan.

Peningkatan *throughput* dengan menggunakan pendekatan TOC dikenal dengan 5 langkah TOC untuk memperbaiki sistem yaitu (Arya, 2004): a). Identifikasi konstrain dalam sistem (*Identifying Constraint*). b). Melakukan eksploitasi terhadap stasiun konstrain (*Exploiting Constraint*). c). Subordinasi semua bagian lain dari sistem manufaktur (*Subordinate all parts of the manufacturing system*). d). Tingkatkan kemampuan stasiun konstrain untuk memecahkan masalah (*Elevating Constraint*). e). Jika konstrain telah dipecahkan atau timbul konstrain baru, kembali ke langkah-1.

Langkah-langkah perbaikan sistem yang dilakukan dalam TOC menunjukkan penekanan atau konsentrasi pendekatan TOC pada stasiun konstrain, dan stasiun non konstrain mengikuti hasil yang diperoleh dari stasiun konstrain. Penekanan ini mempermudah proses penjadwalan yang dilakukan, karena cukup hanya mencari jadwal yang sesuai untuk stasiun konstrain dan tidak mencari jadwal yang sesuai untuk semua elemen yang terlibat.

Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan pendekatan TOC ini tidak hanya pengendalian *Buffer* di stasiun konstrain. Keberhasilan penerapan TOC akan ditentukan oleh keberhasilan penerapan 10 prinsip dasar TOC, yaitu (Umble dan Srikanth, 1996): a). Penyeimbangan aliran bukan kapasitas. b). Tingkat utilitas stasiun *non-bottleneck* tidak ditentukan oleh potensinya tetapi oleh stasiun kerja *bottleneck* atau sumber kritisnya. c). Aktivitas tidak selalu sama dengan utilitas. d). Satu jam hilang di stasiun *bottleneck* berarti kehilangan satu jam pada seluruh sistem. e). Satu jam penghematan pada stasiun *non-bottleneck* merupakan penghematan sia-sia. f). *Bottleneck* mempengaruhi *throughput* dan *inventory*. g). *Transfer batch* tidak

harus selalu sama ukurannya dengan *process batch*. h). Ukuran *process batch* sebaliknya tidak tetap (variabel). i). Penjadwalan sebaiknya dilakukan dengan melihat semua sistem konstrain secara simultan. j). Jumlah dari optimum lokal tidak selalu sama dengan optimum keseluruhan (global).

Metode penjadwalan yang memusatkan perhatian pada stasiun konstrain dan menggunakan prinsip-prinsip dasar TOC adalah sistem penjadwalan *drum-buffer-rope* (DBR). Sistem penjadwalan DBR juga digunakan dalam *synchronous manufacturing* yang diperkenalkan oleh Umble dan Srikanth, (1996).

Konsep DBR dalam sistem produksi dapat dinyatakan sebagai usaha untuk menghasilkan produk sebanyak-banyaknya dengan *lead time* yang rendah dan persediaan di setiap stasiun juga rendah. *Drum* merupakan stasiun dengan kapasitas terendah atau konstrain dalam sistem produksi. Stasiun ini akan menentukan laju produksi (*throughput*) dari sistem. Karena stasiun ini menjadi penentu laju produksi keseluruhan sistem, maka stasiun kerja ini perlu mendapatkan perlindungan terhadap fluktuasi dan gangguan yang selalu terjadi dalam sistem produksi. Perlindungan yang diberikan mempunyai tujuan agar stasiun konstrain tidak menganggur akibat fluktuasi stasiunstasiun kerja sebelumnya. Perlindungan ini dilakukan dengan memberikan *buffer* yang ditempatkan di depan stasiun konstrain (*constraint buffer*). *Buffer* ini juga berfungsi agar laju produksi tidak terganggu oleh gangguan yang terjadi dalam sistem produksi, oleh karena itu *buffer* ini dikenal juga sebagai *buffer* pelindung (*protective buffer*).

Buffer atau penyangga terdiri dari 2 macam, yaitu (Umble dan Srikanth, 1996): a). *Time buffer*, yaitu waktu yang dijadikan penyangga dengan tujuan untuk melindungi laju produksi (*throughput*) sistem dari gangguan yang selalu terjadi dalam sistem produksi. b). *Stock buffer*, yaitu produk akhir maupun produk antara yang dijadikan penyangga dengan tujuan untuk memperbaiki kemampuan menanggapi sistem produksi terhadap permintaan, sehingga sistem mungkin

untuk menyelesaikan produk di bawah waktu penyelesaian normalnya.

Berdasarkan kedua definisi *buffer* di atas, maka tipe *buffer* yang paling sesuai untuk menjadi *buffer* di stasiun konstrain adalah *time buffer*, karena tujuan dari *time buffer* adalah hubungan melindungi *throughput* dari berbagai gangguan internal yang muncul. *Inventory* yang terjadi pada stasiun konstrain tampak seperti seperti *stock buffer* untuk melindungi stasiun konstrain, tetapi sesungguhnya *inventori* tersebut muncul karena setiap *order* diberikan *time buffer* di stasiun konstrain sehingga *order* tiba sebelum jadwalnya.

Penghubung antara laju produksi pada stasiun konstrain dengan stasiun non konstrain disebut sebagai *rope*. Adanya *rope* ini akan mengurangi jumlah persediaan yang terjadi pada stasiun kerja dan menjaganya pada tingkat tertentu yang sesuai, karena setiap stasiun akan melakukan produksi sesuai dengan kebutuhan stasiun konstrain, bukan sesuai kapasitasnya.

PEMBAHASAN

Untuk melakukan penjadwalan menggunakan algoritma penjadwalan dengan pendekatan TOC dilakukan dengan urutan-urutan penggunaan algoritma sebagai berikut:

Algoritma 1: penentuan waktu tunggu (*buffer time*), contoh perhitungan data laju kedatangan order X_5 adalah:
Penentuan laju kedatangan setiap order:

$$D^{(h)} = \frac{1}{MLT} = \frac{1}{(d^{(h)} - r^{(h)})_m} = D^{(h)} = 0,091$$

Untuk perhitungan data laju kedatangan setiap order dapat dilihat pada Tabel 3, 4 dan 5.

Algoritma 2: penentuan Etc dan Ltc. Hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 7.: Etc sebelum stasiun konstrain :

$$\begin{aligned} \text{ETCH (X5)} &= \text{SAAT SIAP} + (\text{EKSPETASI LEAD TIME P1} + \text{EKSPETASI LEAD TIME P2}) \\ \text{ETCH (X5)} &= 15 + (1,086 + 1,457) \\ &= 17, 5431 \end{aligned}$$

Ltch setelah stasiun konstrain Menganalisis *due date* setiap order dengan total *lead time* setelah konstrain untuk memperoleh *LtC*. Hasil perhitungan untuk setiap dari order ditunjukkan pada Tabel 6.:

Tabel 3. Laju kedatangan untuk setiap order

No. Order	Laju Kedatangan
X5	0,091
X6	0,071
X7	0,083
X8	0,067
X9	0,067

Tabel 4. Beban kerja untuk setiap stasiun

Stasiun Kerja	Beban Kerja
P1	0,379
P2	0,335
P3	0,633
P4	0,430

Tabel 5. Ekspektasi waktu tunggu untuk setiap stasiun kerja (hari)

Stasiun Kerja	Waktu Tunggu
1	0,3361
2	0,2071
3	1,2408
4	0,4764

Tabel 6. Etc dan Ltc untuk setiap order

Jenis Produk	No. Order	Ekspektasi Etc (hari)	Ekspektasi Ltc (hari)
1a	X5	17,5431	23,0254
3	X7	17,7931	23,2754
2b	X8	17,7931	28,0254
2a	X6	17,0431	24,2754
1b	X9	18,7931	29,0254

Algoritma 3: pendistribusian order-order di stasiun konstrain Dalam kasus ini, sistem produksi hanya mempunyai satu mesin sehingga algoritma tidak digunakan.

Tabel 7. Tabel hasil perhitungan ekspektasi *lead time*

Jenis Produk	No Order	Ekspektasi <i>lead time</i>				Total
		Sebelum Stasiun Konstrain		Stasiun Konstrain	Sesudah Stasiun Konstrain	
		P1	P2	P3	P4	
1a	X5	1,086	1,457	2,741	1,475	6,759
2a	X6	1,586	1,207	3,241	1,725	8,009
3	X7	1,586	1,207	3,491	1,475	7,759
2b	X8	1,086	0,707	2,241	1,975	6,009
1b	X9	1,086	0,707	2,741	1,475	6,009

Tabel 8. hasil perhitungan penjadwalan X5 tidak layak

Jenis Produk	No. Order	Etc	Waktu Proses	Set up	Ltc	Kelayakan
2a	X6	17,0431	2	0	24,2754	Layak
2b	X8	19,0431	1	0	28,0254	Layak
3	X7	20,5431	2,25	0,5	23,2754	Layak
1a	X5	24,2931	1,5	1,5	23,0254	Tidak Layak
1b	X9	25,7931	0	0	29,0254	Layak

Etc > Ltc penjadwalan tidak layak

Algoritma 4: penjadwalan untuk order di setiap mesin dengan pendekatan branch dan bound. Kasus ini selanjutnya diselesaikan dengan menggunakan algoritma 4 yang akan menjadwalkan kelima order tersebut. Tahapan pertama kali dari algoritma 4 yang akan dijadwalkan pada kelima order tersebut. Tahapan pertama dari algoritma 4 adalah menghitung solusi inisial yang bertujuan untuk menentukan total waktu *setup* terendah yang dapat dicapai dengan menggunakan algoritma 4.

Algoritma 5: penentuan saat release setiap order ke rantai produksi, sehingga diperoleh hasil penjadwalan di setiap stasiun kerja. Perbandingan hasil penjadwalan dengan pendekatan FCFS dan TOC. Penjadwalan di Perusahaan (Penjadwalan *First Come First Serve*)

Tabel 9. Perhitungan waktu sisa *setup* dan total waktu *setup*

Alternatif	Σ sisa waktu (hari)	Σ sisa <i>setup</i> (hari)	t selesai (hari)
X5-X9-X6-X8-X7	1,5	2,5	19,50
X6-X8-X7-X5-X9	2	2	20,54
X7-X6-X8-X5-X9	1,5	2	20,04
X8-X6-X7-X5-X9	2	2	18,79
X9-X5-X6-X8-X7	1,5	2,5	20,29

Tabel 10. Tabel waktu *setup* antar jenis produk (hari)

Dari / Ke	Produk 1	Produk 2	Produk 3
Produk 1	0	1	1,5
Produk 2	1	0	0,5
Produk 3	1,5	0,5	0

Tabel 11. Tabel order-order yang akan dijadwalkan

Jenis Produk	No. Order	Waktu Proses (hari)				Total	Due date	Saat Siap
		P1	P2	P3	P4			
1a	X5	0,75	1,25	1,5	1,5	4,5	26	15
2a	X6	1,5	1	1	2	5,75	28	14
3	X7	1,25	1	1	2,25	5,5	27	15
2b	X8	0,75	0,5	0,5	1	3,75	32	17
1b	X9	0,75	0,5	0,5	1,5	3,75	32	17
Beban Stasiun Kerja		5,0	4,25	4,25	8,25			

Dalam sistem penjadwalan yang dilakukan di perusahaan, proses pembuatan produk berdasarkan pesanan ini yang paling dahulu tiba ditandai dengan saat siap terkecil. Sehingga urutan *release* ordernya sebagai berikut: Penjadwalan order X6, penjadwalan dimulai dari hari ke 15,00 (*release* P1 order X6).
 $Release\ P2 = release\ P1 + W.P\ 1\ order\ X6 + waktu\ tunggu\ P1$

$$= 15,00 + 1,5 + 0,34 = 16,84$$

Release P1 order X5:

$$Release\ P1 = saat\ release\ P2 + waktu\ setup\ (dari\ produk\ 2\ ke\ produk\ 1) = 16,84 + 1 = 17,84$$

$$Release\ P2 = release\ P1 + W.P\ 1\ order\ X5 + waktu\ tunggu :$$

$$P1 = 17,8 + 0,75 + 0,34 = 18,93$$

Untuk penentuan saat *release* seluruh order dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Penentuan saat *release* setiap order dan hasil penjadwalan di setiap stasiun kerja yang dilakukan di perusahaan dalam satuan hari

No Produk	Saat Release (hari)				Saat Siap	Saat release	Due date	Saat selesai	Waktu tinggal	Waktu tinggal aktual
	P1	P2	P3	P4						
X6	15,00	16,84	18,04	21,28	14	15,00	28	23,00	8,00	13,00
X5	17,84	18,93	21,28	24,02	15	17,84	26	25,49	7,56	7,65
X7	20,43	22,02	24,02	27,51	15	20,43	27	28,98	8,55	6,57
X8	22,52	24,02	27,51	29,75	16	22,52	31	31,72	9,20	8,48
X9	25,02	27,51	29,75	32,49	17	25,07	32	33,96	8,94	6,98
Rata-rata									8,45	8,25

Penjadwalan yang dilakukan di perusahaan adalah sistem penjadwalan yang menggunakan *First Come First Serve*. Yaitu order yang akan diproses di lantai produksi hanya berdasarkan order yang datang lebih dulu dan tidak memperhatikan *due date* setiap order. Hal ini menyebabkan sering terjadinya setup yang berulang-ulang dan hal yang paling merugikan adalah terjadinya keterlambatan ini yang ditandai dengan order diselesaikan melebihi *due date* yang ditentukan. Salah satu kriteria terpenting untuk sistem manufaktur MTO adalah ketepatan pemenuhan *due date* yang telah ditentukan. Penjadwalan dengan pendekatan FCFS yang dilakukan di perusahaan ternyata mempunyai order yang diselesaikan lebih lambat dari *due datenya*, yaitu order X9 yang memiliki saat selesai pada hari ke 33,96. Order X9 memiliki keterlambatan selama 1 hari 9,6 jam. Keterlambatan dari *due date* yang telah ditentukan disebabkan penjadwalan FCFS hanya melihat kondisi saat setiap order tanpa memperhatikan *due date* dan waktu *setup* setiap order.

Hasil penjadwalan ini dengan pendekatan FCFS menghasilkan urutan order X6 - X5 - X7 - X8 - X9 dengan total waktu setup 4 hari. Nilai rata-rata waktu

tinggal dan waktu tinggal aktual terjadi pada penjadwalan FCFS menunjukkan *Work In Process* (WIP) di lantai produksi yang terjadi, yaitu 8 hari 4,5 jam untuk waktu aktual dan 8 hari 5,2 jam untuk waktu tinggal aktual. *Makespan* yang terjadi selama 18,96 hari.

Penjadwalan ini menggunakan pendekatan *Theory of Constraint* (TOC), usulan algoritma penjadwalan dengan pendekatan TOC disusun untuk mengakomodasikan beberapa karakteristik sistem manufaktur MTO repetitif yang umum, misalnya untuk kasus jumlah mesin di stasiun konstrain yang berbeda. Di samping itu, penentuan saat yang tepat untuk setiap order direlease ke lantai produksi perlu dilakukan agar order tersebut tidak di stasiun konstrain sesuai jadwal yang telah ditentukan. Oleh karena itu, algoritma penjadwalan yang diusulkan akan mempunyai fungsi-fungsi sebagai berikut: a). Minimasi total waktu *setup*, sebagai salah satu cara untuk meningkatkan utilisasi stasiun konstrain. Waktu *setup* merupakan waktu yang tidak produktif, tetapi *setup* harus dilakukan agar mesin dapat memproses material dengan baik. Proses minimasi jumlah *setup* dilakukan dengan pertimbangan saat selesai setiap order tidak

melampaui *due datenya* dan setiap order tidak dijadwalkan di stasiun konstrain sebelum saat siap order tersebut untuk diproses di stasiun konstrain. b).Penjadwalan order-order di setiap mesin dalam stasiun konstrain. Penjadwalan ini merupakan langkah untuk menemukan jumlah total *setup* yang minimum dan layak untuk setiap order. Order yang dijadwalkan layak, jika order tersebut dijadwalkan dengan tidak melanggar *due date* setiap order yang dijadwalkan. c).Penentuan saat release setiap order yang dijadwalkan, dalam penjadwalan ini dengan pendekatan TOC diperlukan *buffer time* untuk menghindari keterlambatan order

tiba di stasiun konstrain. Penentuan besarnya *buffer time* dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan algoritma Zijm (Zijm, 1997). Algoritma ini untuk memperkirakan *lead time* dengan menggunakan pendekatan antrian. *Buffer time* sebelum stasiun konstrain akan menjadi *buffer time* bagi stasiun konstrain dan *buffer time* setelah stasiun konstrain akan menjadi *buffer time* untuk pengiriman.

Untuk memperoleh penjadwalan yang optimal digunakan algoritma *branch and bound*. Hasil penjadwalan dengan pendekatan TOC (dalam satuan hari) dapat dilihat pada Tabel 13 dan 14.

Tabel 13. Penentuan saat *release* setiap order dan hasil penjadwalan di setiap stasiun kerja menggunakan pendekatan TOC dalam satuan hari.

No Produk	Saat Release (hari)				Saat Siap	Saat release	Due date	Saat selesai	Waktu tinggal	Waktu tinggal aktual
	P1	P2	P3	P4						
X7	15,00	16,25	17,79	20,04	15	15,00	27	21,52	6,52	12,00
X5	19,00	19,75	21,54	23,04	15	19,00	26	24,52	5,52	7,00
X6	21,00	22,50	24,04	26,04	14	21,00	28	27,77	6,77	7,00
X8	24,25	25,00	26,04	27,04	16	24,25	31	29,02	4,77	6,75
X9	26,25	27,00	28,04	29,54	17	26,25	32	31,02	4,77	5,75
Rata-rata									5,67	7,70

Tabel 14. Perbandingan Hasil Akhir Menggunakan Penjadwalan Metode FCFS dan TOC

Kegiatan	Makespan		Keterangan	Waktu Set Up		Keterangan
	Metode FCFS (hari)	Metode TOC (hari)		Metode FCFS (hari)	Metode TOC (hari)	
Penjadwalan konstrain	18,96	16,02	Terjadi selisih se-besar 2,94 hari, maka penghematan terdapat pada metode TOC	4	1,22	Terjadi selisih sebesar 2,78 hari, maka penghematan terdapat pada metode TOC (terjadi karena terdapat keterlambatan pada order X9 selama 1,96 hari pada metode FCFS)

KESIMPULAN

Melalui algoritma penjadwalan dengan pendekatan TOC menunjukkan adanya perbaikan dalam utilisasi stasiun konstrain dibandingkan dengan sistem penjadwalan FCFS, hal ini dapat dibuktikan dengan *makespan* yang lebih rendah bila menggunakan penjadwalan dengan menggunakan pendekatan TOC yaitu 16,02 hari dibandingkan dengan *make-span* yang dihasilkan bila menggunakan pendekatan FCFS yaitu 18,96 hari (selisih 2,94 hari).

Pada penjadwalan dengan pendekatan TOC urutan order yang diperoleh adalah X7 - X5 - X6 - X8 - X9 dengan jumlah total waktu *setup* selama 1,22 hari dan urutan order dengan penjadwalan FCFS adalah X6 - X5 - X7 - X8 - X9 dengan jumlah total waktu *setup* selama 4 hari. Terjadinya selisih waktu *setup* antara kedua jenis penjadwalan yang dilakukan, dikarenakan penjadwalan dengan FCFS mengalami keterlambatan untuk order X9 selama 1,96 hari.

Hasil penjadwalan yang dilakukan menunjukkan bahwa rata-rata waktu tinggal dengan menggunakan penjadwalan TOC yang diusulkan lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan penjadwalan FCFS, yaitu terjadi penurunan selama 2,78 hari untuk waktu tinggal dan 0,82 hari untuk waktu tinggal aktual, penurunan waktu tinggal menyebabkan terjadinya penurunan *Work In Process* (WIP) yang merupakan salah satu kriteria performansi sistem penjadwalan yang menggunakan pendekatan TOC. Penyebab terjadi penurunan waktu tinggal aktual pada penjadwalan TOC adalah saat *release* setiap order yang disesuaikan dengan kebutuhan di stasiun konstrain, sehingga tidak terjadi antrian yang cukup besar di stasiun konstrain.

DAFTAR PUSTAKA

- Arya, H, S., 2004, *Optimasi Common Due Date pada Kasus General Flow Shop Single Machine Sequences Independent Setup Time dengan Algoritma Genetik*, Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Aswita, E, S., 2003, *Penjadwalan Produksi Flow Shop Untuk Mengoptimalkan Lead Time Manufaktur Pada Lingkungan Manufaktur Repetitive Make To Order*, Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Charthy, M, 1993, *Addressing the Gap in Scheduling Research: a review of Optimization Heuristic Methods in Production Scheduling*, International Journal of Production Research, Vol. 31 hal 59-79.
- Fogarty, Donald W., Hoffman R. Thomas, Stonebraker Peter W, *Production And Operation Management*, Cincinnati South Westrn Publishing Co, 1998.
- Goldratt, E, M., 1997, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*.
- Halim, A, H., et al., 1993, *Batch Scheduling, for Production System Under Just In Time Environment*.
- Suryati, E, 2000, *Penentuan Aturan Dispatching Terbaik Pada Proses Produksi Penjadwalan Job Shop "Side Wall" dengan Pendekatan Algoritma Genetik* Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Toha, I, S., Taroepratjeka, H, 1997, *Optimasi Penentuan Waktu Manufaktur Produk pada Sistem Manufaktur Make to Order Job Shop*, Jurnal Teknik Management Industri, Vol. 17 (2).
- Umble, M, M., Srikanth, M, L., 1996, *Synchronous Manufacturing: Principles of World Class Excellen*, The Spectrum Publishing Company Inc.,
- Zijm, W, H, M., 1997, *Capacity Planning, Lead Time Managemen, and Shop Floor Scheduling*.

ANALISA PERBANDINGAN PENGUKURAN TEKANAN ANNULUS TEORI DAN LANGSUNG PADA PROSES PENGEBORAN MINYAK BUMI

Khairul Muhajir¹, Sugijarto Prawiro Sentono², Esa Taufik³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 Nopember 2011, revisi masuk: 11 Januari 2012, diterima: 25 Januari 2012

ABSTRACT

In oil drilling process, the application of pressure measurements in in space between formation borehole and drill pipe (annulus) is very important. The correlation of predicted and measured annulus pressures is a very complex. The engineer's knowledge of oil drilling process is very important to understand annulus pressure change and their effects will influence the accuracy of annulus pressure predictions. Factors that should be considered include the monitoring and collection of rig-site information such as density, viscosity of mud, drilling depth, flow rate, and drill pipe rotation. The author collects the data and made the analysis with supporting documents. The research concludes that there are differences between predicted and measured annulus pressure. The most dominant factor is mud density that measured on surface and the one in the bore hole. The mud density in the borehole is influences by another material from rubbish and cutting. The equation is not corrected by the influences of that another material. The higher of percentage of rubbish in the bore hole will be caused the higher of mud density; hence the ECD and annulus pressure will be higher also. The amount of rubbish also influenced by viscosity, flow rate, and drill pipe rotation.

Keywords: *Annulus Pressure, Equivalent Circulating Density, Drilling Technology*

INTISARI

Pada proses pengeboran minyak penggunaan pengukuran tekanan pada rongga antara lubang bor dan pipa pengeboran (rongga *annulus*) adalah sangat penting. Hubungan antara tekanan *annulus* hasil perhitungan dan hasil pengukuran sensor dikaji dalam skripsi ini. Pengetahuan teknik tentang proses pengeboran minyak sangat penting untuk memahami perubahan tekanan *annulus* yang terjadi dan pengaruhnya terhadap ketelitian perhitungan tekanan *annulus*. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan meliputi pengamatan dan pengumpulan informasi dari lokasi anjungan pengeboran seperti berat jenis, viskositas dari lumpur, kedalaman pengeboran, laju pompa, dan putaran pipa pengeboran. Penulis melakukan pengumpulan data pengeboran dan melakukan analisa dengan menghubungkan berbagai data. Penelitian menyimpulkan bahwa terjadi perbedaan antara tekanan *annulus* secara teori dan langsung. Faktor paling dominan yang menyebabkan perbedaan pengukuran secara teori dan sensor adalah perbedaan berat jenis lumpur yang diukur pada permukaan dan yang terdapat pada lubang bor. Berat jenis dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut. Semakin banyak kandungan sampah di lubang bor akan mengakibatkan semakin tinggi nilai berat jenis sehingga perolehan *ECD* dan tekanan *annulus* akan semakin besar. Kandungan sampah tersebut juga di pengaruhi oleh viskositas, laju pompa dan kecepatan putaran pipa.

Kata kunci: *Tekanan Annulus, Equivalent Circulating Density, Teknologi Pengeboran*

¹ khairul.muhajir@ymail.com,

³ esataufik2@gmail.com

PENDAHULUAN

Pengeboran merupakan bagian proses yang membutuhkan biaya paling banyak selama proses eksplorasi minyak bumi. Oleh karena itu pengeboran berlangsung dengan proses yang optimal dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang ada.

Pengeboran dimasa depan akan semakin dalam menembus perut bumi untuk mencari ladang minyak bumi baru. Masalah utama yang akan dihadapi adalah mengantisipasi tekanan yang sangat besar dan temperatur yang sangat tinggi. Tekanan dan temperatur di dalam perut bumi diantisipasi dengan memanfaatkan konsep hidrolis dalam pengeboran minyak bumi akan memberikan tekanan di dalam lubang bor yang akan mencegah terjadinya penetrasi fluida dari formasi ke lubang bor (*kick* atau *blow out*) dan membantu mendinginkan mata bor selama pengeboran minyak bumi.

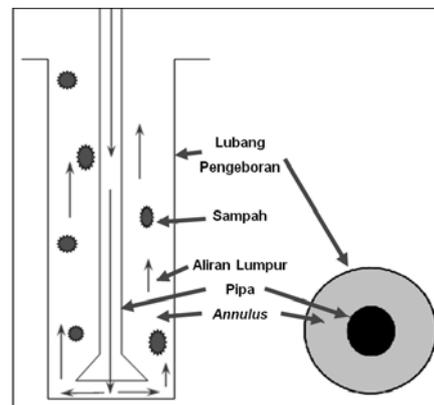
Pengukuran tekanan merupakan hal yang penting untuk melakukan proses pengeboran yang aman. Pembacaan tekanan dari sensor harus di periksa ulang ketepatannya dibandingkan dengan perhitungan secara teori.

Penelitian yang sudah dilakukan memperhitungan secara teori dan pengumpulan data dari hasil pembacaan sensor. Dari data-data yang diperoleh tersebut kemudian dilakukan metode analisis perbandingan tekanan *annulus* dengan *variable* di berbagai titik kedalaman dan mencari faktor-faktor penyebab apabila terjadi perbedaan. *Parameter* dibatasi berdasarkan berat jenis ini minyak bumi, viskositas, laju pompa, kedalaman dan kecepatan putaran pipa pengeboran.

Proses Eksplorasi Minyak bumi itu sendiri, berlangsung bertahap dari proses Evaluasi Kandungan Minyak Bumi, Pengeboran Minyak, Pemasangan *Casing*, Penyemenan, *Logging* (pengambilan sampel data) dan Produksi/Perforasi.

Pengertian dari Tekanan *Annulus* adalah Tekanan pada rongga antara pipa bor dan formasi batuan. Fungsi dari tekanan annulus ini ialah untuk menjaga agar stabilitas dan Efisiensi pengeboran:

menghindari kendala-kendala pengeboran seperti *kick*, *lost circulation*, *stuck pipe* dan sebagainya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa lubang *annulus*

METODE

Langkah-langkah perhitungan ini untuk mencari tekanan *Annulus* adalah sebagai berikut : Menentukan indeks *Power Law*, untuk menentukan sifat lumpur terhadap laju geser (*shear rate*) yang diberikan (Lapeyrouse, 2002). Semakin rendah nilai *n* berarti semakin encer lumpur terhadap laju geser (*shear rate*) yang diberikan.

$$n = 3,32 \log \frac{\phi 600}{\phi 300} \dots\dots\dots (1)$$

dimana: *n*= Indeks *Power Law*; Ø300= Viskositas lumpur pada 300rpm (*cp*); Ø-600=Viskositas lumpur pada 600rpm(*cp*).

Menentukan indeks konsistensi Indeks konsistensi dihitung dengan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$K = \frac{\phi 300}{511^n} \dots\dots\dots (2)$$

dimana: *K*=Indeks konsistensi(*lbsⁿ/100 ft²*); *n*= Indeks *Power Law*.

Menentukan kecepatan kritis lumpur di *annulus*: Lumpur yang mengalir di *annulus* mempunyai kecepatan kritis yang menentukan batas antara pola aliran laminar dan pola aliran turbulen. Jika kecepatan lumpur melebihi kecepatan kritisnya, maka pola alirannya turbulen. Kecepatan kritis lumpur bor di *annulus* dapat ditentukan dengan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$V_c = \left(\frac{3878 \times 10^4 K}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{1+(2-n)}} \times \left(\frac{24}{Dh-Dp} \times \frac{2n+1}{3n} \right)^{\frac{1}{n+(2-n)}} \dots(3)$$

dimana: V_c = Kecepatan kritis (ft/min); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter luar pipa (in); n = Indeks *Power Law*.

Menentukan kecepatan aliran lumpur di *annulus*, lumpur yang mengalir di *annulus* mempunyai kecepatan alir yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Lapeyrouse, 2002):

$$V_a = \frac{24,51xQ}{(D_h^2 - D_p^2)} \dots\dots\dots(4)$$

dimana : V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); Q = Laju alir pompa (gpm); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in); Menentukan pola aliran lumpur Untuk mengetahui pola aliran lumpur di *annulus* dengan kecepatan tertentu dapat digunakan dua cara.

Cara pertama adalah dengan melihat kecepatan kritis, jika kecepatan lumpur di *annulus* lebih besar dari kecepatan kritisnya, maka pola alirannya adalah turbulen.

Cara kedua dengan melihat besarnya bilangan *Reynolds*, yaitu perbandingan gaya-gaya inersia terhadap viskositas dari percobaan pada fluida *Newtonian*, diketahui bahwa untuk $Re > 3000$ adalah turbulen, dan $Re < 2000$ adalah laminar, sedangkan diantaranya adalah transisi (Hawker, 2001). Bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_R = \frac{15,467 x V_a (D_h - D_p) \rho_m}{\mu_{ea}} \dots\dots(5)$$

dimana: N_R = Bilangan *Reynolds*; V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in); μ_{ea} = *Effective viscosity annulus* (cp).

Sedangkan untuk *Effective viscosity annulus*, dapat dihitung dengan persamaan (6):

$$\mu_{ea} = 100 K \left(\frac{2,41 x V_a}{D_h - D_p} \right)^{(n-1)} x \left(\frac{2n+1}{3n} \right)^n \dots(6)$$

dimana: μ_{ea} = *Effective viscosity annulus* (cp); K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); n = Indeks *Power Law*; V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in)

Tekanan yang hilang di *annulus* dipengaruhi bentuk aliran lumpur yang terjadi. Untuk mengetahui tekanan yang

hilang di *annulus* harus dicari jenis alirannya apakah *laminar* atau *turbulen*.

Perhitungan tekanan yang hilang di *annulus* menggunakan persamaan (Lapeyrouse, 2002):

$$P_{slaminar} = \left(\frac{24 V_a}{D_h - D_p} x \frac{2n+1}{3n} \right)^n x \left(\frac{KL}{300(D_h - D_p)} \right) \dots (7)$$

$$P_{sturbulen} = \frac{7,7x10^5 \rho_m^{0,8} Q^{1,8} PV^{0,2} L}{(D_h - D_p)^3 x (D_h + D_p)^{1,8}} \dots (8)$$

dimana: P_s = Tekanan yang hilang di *annulus* (psi); V_a = Kecepatan lumpur di *annulus* (ft/min); n = Indeks *Power Law*; K = Indeks Konsistensi ($lbs^n/100 ft^2$); L = Panjang pipa (ft); Q = Laju alir pompa (gpm); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg); D_h = Diameter lubang (in); D_p = Diameter pipa (in) PV = *Plastic viscosity* (cp).

Berat jenis sirkulasi ekuivalen lumpur (*Equivalent Circulating Density* atau *ECD*). Berat jenis lumpur pada kondisi statik dan dinamik tidak sama. Ketika lumpur mengalir maka berat jenisnya mengalami kenaikan (Lapeyrouse, 2002).

$$ECD = \frac{P_s}{0,05195xTVD} + \rho_m \dots\dots\dots(9)$$

dimana : ECD = Berat jenis sirkulasi ekuivalen lumpur / *Equivalent Circulating Density* (ppg); P_s = Tekanan yang hilang di *annulus* (psi); ρ_m = Berat jenis lumpur (ppg).

Menentukan Tekanan *annulus* dapat dihitung dengan (Gzara dan Cooper, 2008):

$$P_{annulus} = ECD x [g(TVD - EHED)] + P_{Balik} \dots(10)$$

dimana: $P_{annulus}$ = Tekanan *annulus* (psi); g = Konstanta gravitasi (0.05195 untuk mendapatkan *ECD* dalam ppg); TVD = Kedalaman vertikal (ft); $EHED$ = Jarak acuan kedalaman dan jalur pembuangan (ft); P_{Bali} = Tekanan balik (psi) Tekanan balik tidak ada bila pengeboran memakai *riser*.

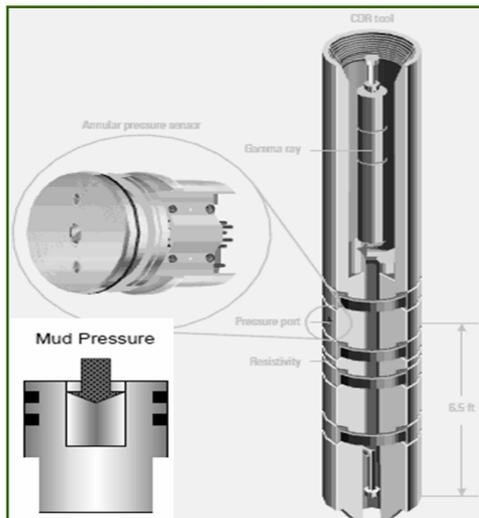
Tekanan balik tidak ada bila pengeboran memakai *riser*. Apabila lumpur dibuang ke laut maka tekanan balik dihitung dengan persamaan :

$$P_{Balik} = g x WD x \rho_{sw} \dots\dots(11)$$

dimana: P_{Balik} = Tekanan balik (psi); g = Konstanta gravitasi (0.05195 untuk mendapatkan *ECD* dalam ppg). WD = Kedalaman air atau *water depth* (ft); ρ_{sw} = berat jenis air laut (8,5 ppg). Cara kerja sensor tekanan *annulus* adalah ketika

fluida pengeboran memasuki lubang dan menekan dinding yang bersifat elastis. Deformasi yang terjadi diukur dengan *strain gauge*.

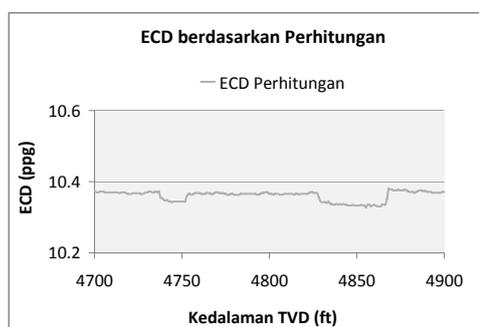
Sensor ini dikalibrasi pada berbagai tekanan dan temperatur statik untuk menentukan koefisien tekanan dan temperatur. Adapun sensor Annulus ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor tekanan Annulus pada pipa pengeboran

PEMBAHASAN

Perhitungan *Equivalent Circulating Density* (ECD) dan tekanan annulus dilakukan di 150 titik kedalaman beserta pembacaan tekanan dari sensor. Data-data yang diperoleh kemudian di plot menjadi grafik seperti Gambar 3.

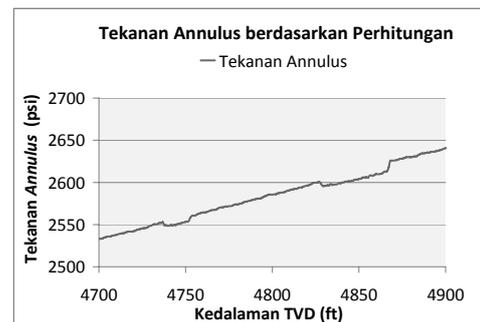


Gambar 3. Grafik antara kedalaman dan ECD perhitungan.

Berdasarkan Gambar 3. didapat perbandingan ECD (*Equivalent Circulating Density*) terhadap kedalaman. Nilai ECD terlihat cukup tidak terpengaruh dengan penambahan kedalaman. Terdapat penurunan nilai ECD pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Secara teoritis, ECD berbanding terbalik dengan kedalaman. Akan tetapi kedalaman disini dikalikan dengan konstanta gravitasi (0.05195) sehingga hasil yang diperoleh sangat kecil dan tidak begitu mempengaruhi perhitungan ECD.

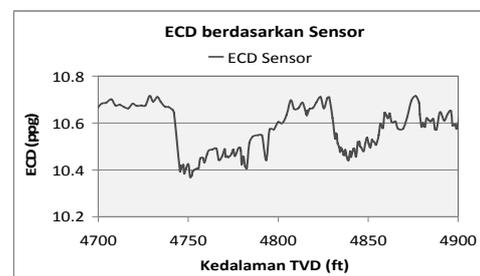
Secara teoritis, ECD berbanding terbalik dengan kedalaman. Akan tetapi kedalaman disini dikalikan dengan konstanta gravitasi (0.05195) sehingga hasil yang diperoleh sangat kecil dan tidak begitu mempengaruhi perhitungan ECD.



Gambar 4. Grafik antara kedalaman dan tekanan annulus perhitungan

Gambar 4. didapat dari perbandingan Tekanan Annulus terhadap kedalaman. Nilai Tekanan Annulus meningkat sebanding dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai Tekanan Annulus pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Secara teoritis, Tekanan Annulus berbanding lurus dengan kedalaman. Hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan bahwa Tekanan Annulus semakin tinggi pada saat pengeboran semakin dalam.

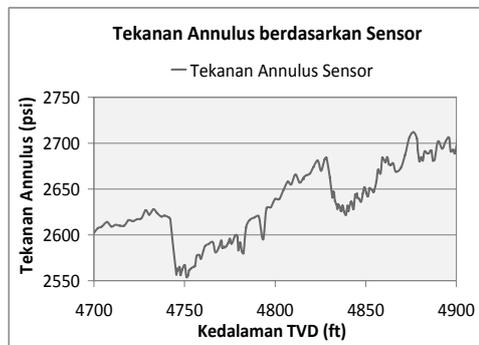


Gambar 5. Grafik antara kedalaman dan ECD sensor

Dari hasil pengukuran langsung dari sensor didapat data ECD (*Equivalent Circulating Density*) dalam satuan ppg

dan *Tekanan Annulus* dalam satuan psi secara langsung. Data-data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik. Gambar 5. didapat dari perbandingan *ECD (Equivalent Circulating Density)* terhadap kedalaman. Nilai *ECD* didapat sekitar 10.4 sampai 10.7 ppg dan tidak dipengaruhi dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai *ECD* pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Secara teoritis, *ECD* berbanding terbalik dengan kedalaman. Akan tetapi kedalaman disini dikalikan dengan konstanta gravitasi (0.05195) sehingga hasil yang diperoleh sangat kecil dan tidak begitu mempengaruhi perhitungan *ECD*.



Gambar 6. Grafik antara kedalaman dan tekanan *annulus* sensor.

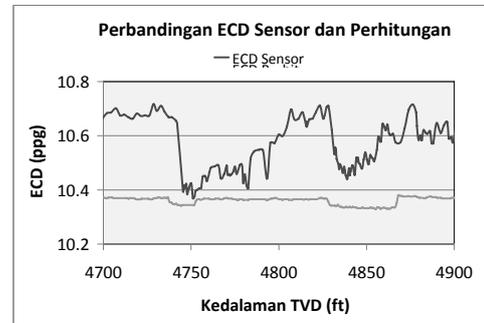
Gambar 6. didapat dari perbandingan *Tekanan Annulus* ini terhadap kedalaman. Nilai *Tekanan Annulus* meningkat sebanding dengan kedalaman. Terdapat penurunan nilai *Tekanan Annulus* pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft, hal ini akan dibahas lebih lanjut pada sub bab Analisa hasil penelitian.

Secara teoritis, *Tekanan Annulus* berbanding lurus dengan kedalaman. Hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan bahwa *Tekanan Annulus* semakin tinggi pada saat pengeboran semakin dalam.

Perbandingan data tekanan berdasarkan perhitungan manual dengan pengukuran sensor untuk kedalaman vertikal 4699–4900ft. Dari data yang diperoleh didapat perbedaan antara perhitungan dan pembacaan sensor dengan rincian sebagai berikut: *ECD (Equivalent Circulating Density)* Rata-rata : 0,19ppg, Maksimum : 0,35 ppg dan Minimum 0,02 ppg. *Tekanan annulus* Rata-rata: 44,17

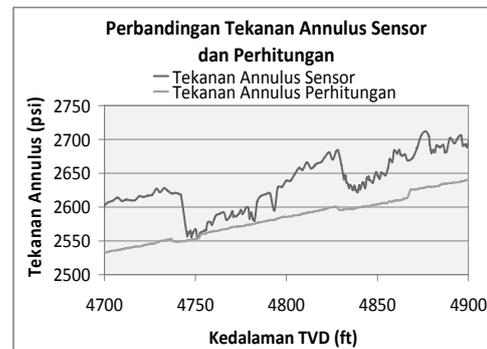
psi, Maksimum : 85,79 psi dan Minimum 0,05 psi

Perbandingan dalam bentuk Grafik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik antara kedalaman, *ECD* perhitungan dan sensor.

Gambar 7. didapat dari perbandingan *ECD (Equivalent Circulating Density)* secara teori dan dari pembacaan sensor terhadap kedalaman. Nilai *ECD* dengan berbeda rata-rata 0,19 ppg, Maksimum : 0,35 ppg dan Minimum 0,02 ppg. Nilai *ECD* tidak terpengaruh kedalaman. Terdapat penurunan nilai *ECD* baik secara teori dan pembacaan sensor pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

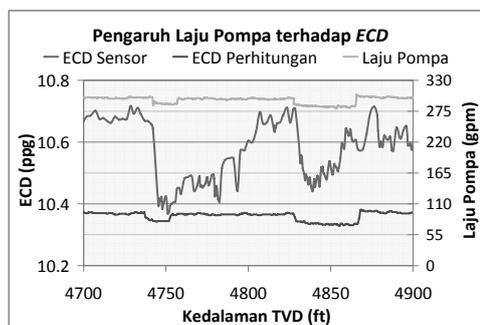


Gambar 8. Grafik antara kedalaman, tekanan *annulus* perhitungan dan sensor

Gambar 8. didapat dari perbandingan *Tekanan Annulus* secara teori dan dari pembacaan sensor terhadap kedalaman. Nilai *Tekanan Annulus* dengan berbeda rata-rata 44,17 psi, Maksimum : 85,79 psi dan Minimum 0,05 psi. Nilai *Tekanan Annulus* tidak terpengaruh kedalaman. Terdapat penurunan nilai *Tekanan Annulus* baik secara teori dan dari

pembacaan sensor pada sekitar kedalaman 4750 dan 4850 ft.

Parameter laju alir pompa ditampilkan pada grafik, pada Gambar 9 dan 10 untuk mengetahui perubahan laju pompa yang digunakan dalam perhitungan tekanan dan sensor. Perubahan laju pompa yang diperoleh sekitar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan faktor penyebab dari penurunan tekanan *annulus* dan *ECD* yang didapatkan melalui perhitungan. Hubungan perubahan kecepatan laju pompa dan nilai yang diperoleh lewat perhitungan bersifat proporsional pada persamaan. Hal ini juga dibuktikan bahwa perubahan laju pompa juga mempengaruhi hasil pembacaan sensor.



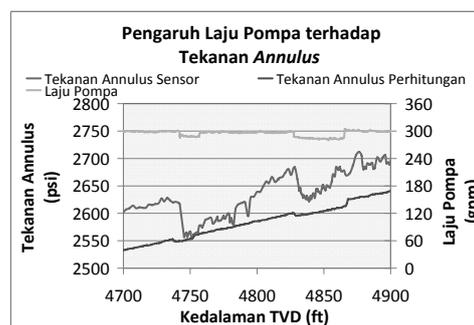
Gambar 9. Grafik efek laju pompa pada *ECD* perhitungan dan sensor

Pada Gambar 9. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *ECD* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft *TVD*. *ECD* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 0,4ppg ($0,048\text{g/cm}^3$). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 0,03ppg ($0,004\text{g/cm}^3$) pada *ECD* di interval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828 – 4839ft *TVD*.

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan laju pompa sebesar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan *ECD* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.

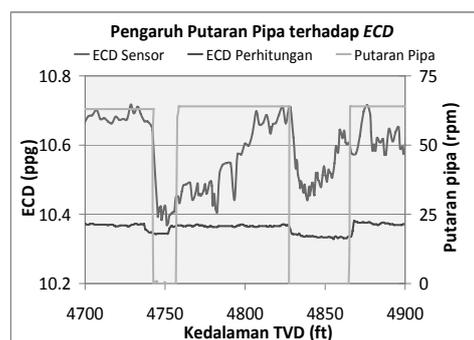
Pada grafik selanjutnya (Gambar 10) disajikan perbandingan laju pompa terhadap tekanan *annulus*. Pada grafik

dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tekanan *annulus* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft *TVD*. Tekanan *annulus* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 60 *psi* ($4,14\text{MPa}$). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 4*psi* ($0,027\text{MPa}$) pada tekanan *annulus* di interval kedalaman yang sama. Fenomena ini juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828–4839ft *TVD*.



Gambar 10. Grafik efek laju pompa pada tekanan *annulus* perhitungan dan sensor

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan laju pompa sebesar 3 *gpm*. Dapat disimpulkan bahwa perubahan laju pompa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan tekanan *annulus* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.



Gambar 11. Grafik pengaruh putaran pipa pada *ECD*

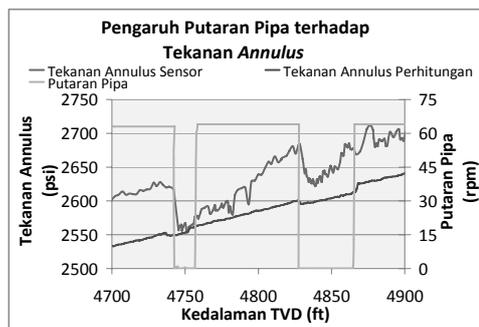
Parameter kecepatan putar pipa pengeboran ditampilkan dalam grafik, pada Gambar 11 dan 12, untuk mengetahui perubahan kecepatan putar pipa selama proses pengeboran. Putaran pipa

yang paling cepat selama proses pengeboran yaitu 64rpm dan terdapat kondisi pipa tidak diputar (0 rpm) yang dilakukan oleh *directional driller* untuk mengendalikan arah mata bor.

Dari gambar terlihat jelas ketika pipa berhenti berputar maka tekanan *annulus* akan menurun secara drastis. Ketika pipa diputar dari kondisi diam, tekanan *annulus* dan *ECD* akan meningkat tetapi tidak secepat ketika pipa berhenti berputar.

Pada Gambar 11. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan *ECD* pada kedalaman vertikal 4739 – 4752 ft TVD. *ECD* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 0,4 ppg (0,048 g/cm³). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 0,03 ppg (0,004 g/cm³) pada *ECD* di interval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828 – 4839 ft TVD.

Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan putaran pipa sebesar 64 rpm. Dapat disimpulkan bahwa perubahan putaran pipa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan *ECD* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.



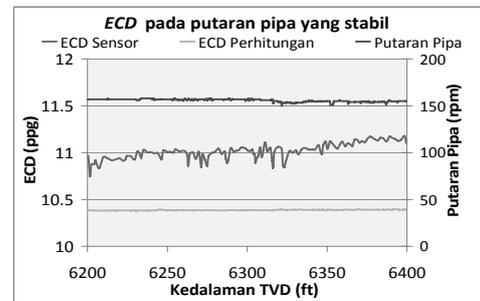
Gambar 12. Grafik pengaruh putaran pipa pada tekanan *annulus*

Pada Gambar 12. dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tekanan *annulus* pada kedalaman vertikal 4739–4752ft TVD. Tekanan *annulus* pada bacaan sensor mengalami penurunan sekitar 60psi (4,14MPa). Pada perhitungan dengan persamaan yang ada juga diperoleh penurunan tetapi hanya sekitar 4 psi (0,027Mpa pada tekanan *annulus* di in-

terval kedalaman yang sama. Fenomena yang sama juga terjadi pada kedalaman vertikal 4828–4839ft TVD.

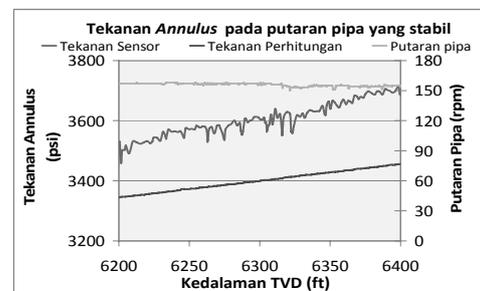
Pada kedalaman tersebut terjadi penurunan putaran pipa sebesar 64 rpm. Dapat disimpulkan bahwa perubahan putaran pipa merupakan salah satu faktor penyebab penurunan tekanan *annulus* dan perbedaan nilai yang didapatkan melalui perhitungan dengan pembacaan sensor.

Untuk menentukan faktor utama penyebab perbedaan hasil pengukuran perlu dilihat hasil pengukuran pada saat laju pompa dan putaran pipa stabil yang akan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik pengaruh putaran pipa pada tekanan *ECD* (6200–6400ft)

Gambar 13. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 155 rpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan *ECD*.

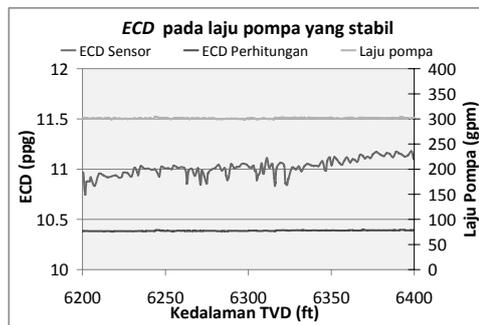


Gambar 14. Grafik pengaruh parameter putaran pipa pada Tekanan *Annulus* (6200–6400ft)

Pada Gambar 14. tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor.

Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 155 rpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan tekanan *annulus*.

Pada grafik selanjutnya (Gambar 15) disajikan perbandingan pengaruh laju pompa yang stabil terhadap *ECD*



Gambar 15. Grafik pengaruh laju pompa pada *ECD* (6200–6400ft)

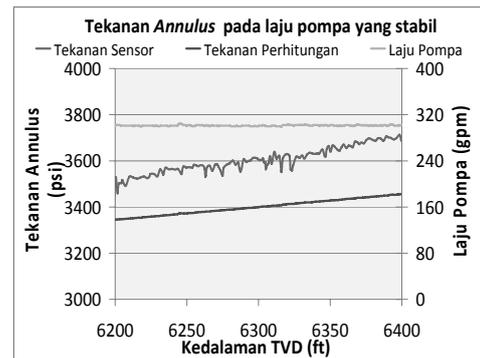
Gambar 15. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 300 gpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan *ECD*.

Pada Gambar 16. diambil pada kedalaman vertikal 6200–6400ft TVD. Pada grafik tersebut masih dapat kita lihat terjadi perbedaan perhitungan secara teori dan pengukuran sensor. Selain hal tersebut dapat kita simpulkan juga bahwa kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil (± 300 gpm) akan sedikit mempengaruhi perubahan tekanan *annulus*.

Dari berbagai analisa sebelumnya diketahui faktor-faktor penyebab perbedaan pengukuran antara teori dan pengukuran langsung adalah parameter berat jenis, viskositas dan kedalaman, laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran.

Berat jenis dan viskositas dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor

dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Sedangkan pada pengukuran dan persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut terhadap berat jenis dan viskositas lumpur pengeboran karena hal ini sangat kompleks dan sulit untuk diperkirakan.



Gambar 16. Grafik pengaruh laju pompa pada tekanan *annulus* (6200 – 6400 ft)

Pengukuran *sample* dari lumpur pengeboran yang meliputi berat jenis dan viskositas di lakukan di permukaan. Pengukuran tidak bisa dilakukan secara langsung di dalam lubang pengeboran. Sampai saat ini belum ada sensor yang bisa mengukur berat jenis dan viskositas secara langsung di dalam lubang pengeboran. Pengukuran dilakukan dengan seakurat mungkin dengan cara melakukan pengukuran dengan cepat dan teliti.

Selain faktor perbedaan pembacaan, banyaknya sampah tersebut juga dapat dipengaruhi oleh laju pompa dan putaran pipa.

Semakin tinggi laju pompa dan semakin tinggi putaran pipa maka semakin besar kecepatan tangensialnya, sehingga akan membantu pengangkatan sampah di *annulus*. Secara teoritis, aliran diantara 2 pipa silinder akan berbentuk helikal bila salah satu atau kedua pipa diputar. Putaran ini akan memberikan kecepatan tangensial pada fluida dirongga antara kedua pipa. Sampah-sampah tersebut akan mengendap bila lumpur tidak mampu mengangkutnya. Bahan-bahan padat sampah yang bercampur dengan lumpur selama pengeboran akan mempengaruhi berat jenis lumpur. Berat jenis lumpur selama sirkulasi lebih tinggi

bila dibandingkan lumpur statik karena sampah akan bercampur dengan lumpur dan mengakibatkan kenaikan berat jenis lumpur dalam proses sirkulasi. Bila sampah-sampah ini sudah bersih terangkat maka berat jenis lumpur dan tekanan yang terjadi di *annulus* akan berkurang. Pada laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil, masih terdapat perbedaan pembacaan tetapi perbedaan yang terjadi akan lebih sedikit.

KESIMPULAN

Kesimpulan-kesimpulan yang dapat diambil adalah :

Dari analisa data diperoleh perbedaan antara perhitungan dan pembacaan sensor dengan rincian sebagai berikut: *ECD (Equivalent Circulating Density)* Rata-rata : 0,19ppg, Maksimum : 0,35ppg dan Minimum 0,02ppg; Tekanan *annulus* Rata-rata : 44,17 psi, Maksimum : 85,79psi dan Minimum 0,05psi.

Faktor paling dominan yang menyebabkan perbedaan pengukuran secara teori dan sensor adalah perbedaan berat jenis lumpur yang diukur pada permukaan dan berat jenis yang pada lubang bor. Berat jenis dari lumpur pengeboran di dalam lubang bor dipengaruhi oleh material-material lain dari sampah atau *cutting*. Persamaan yang ada belum di koreksi dengan mempertimbangkan pengaruh material lain tersebut. Semakin banyak kandungan sampah di lubang bor akan mengakibatkan semakin tinggi nilai berat jenis sehingga perolehan *ECD (Equivalent Circulating Density)* dan tekanan *annulus* akan semakin besar.

Perbedaan pengukuran juga disebabkan oleh pengaruh viskositas. Semakin tinggi pembacaan viskositas pada putaran rendah (dibawah 300 rpm) akan mengakibatkan pembacaan *ECD (Equivalent Circulating Density)* dan

tekanan *annulus* semakin besar. Tingginya pembacaan viskositas diakibatkan oleh banyaknya sampah di lubang bor yang akan mengurangi keenceran lumpur pengeboran.

Banyak sampah dalam lubang bor juga dapat dipengaruhi oleh laju pompa dan putaran pipa.

Semakin tinggi laju pompa dan semakin tinggi putaran pipa nilai tekanan *annulus* dan *ECD (Equivalent Circulating Density)* semakin meningkat karena sampah pada lubang pengeboran akan menambah berat jenis dari lumpur. Pada laju pompa dan kecepatan putar pipa pengeboran yang stabil, masih terdapat perbedaan pembacaan tetapi perbedaan yang terjadi akan lebih sedikit.

Dari kesimpulan yang didapat dalam penelitian ini maka penulis mengemukakan saran untuk dilakukan analisis lebih lanjut untuk mencari hubungan pengaruh sampah atau *cutting* pada lubang bor terhadap berat jenis lumpur untuk perhitungan tekanan *annulus*.

Selain itu juga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mencari hubungan matematis pengaruh laju pompa dan kecepatan putaran pipa terhadap peningkatan jumlah sampah di *annulus* yang dapat mempengaruhi berat jenis lumpur sehingga persamaan yang ada saat ini dapat dikembangkan untuk memperoleh nilai tekanan *annulus* dan *ECD (Equivalent Circulating Density)* yang lebih mendekati nilai pengukuran sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- Hawker, D., 2001, *Drilling Fluids Hydraulics*, Datalog, Calgary
- Lapeyrouse, N. J., 2002, *Formulas and Calculations for Drilling, Production and Workover, Second Edition*, Gulf Professional Publishing, Washington.

MODELLING AND NN CONTROL OF A TWO-LINK FLEXIBLE ROBOT MANIPULATOR

¹Mohammad Khairudin

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Yogyakarta

Masuk: 23 Oktober 2011, revisi masuk: 5 Januari 2012, diterima: 23 Januari 2012

ABSTRACT

This paper presents investigations into the development of neural network (NN) control of a two-link flexible robot manipulator with load 0.5 kg. A dynamic model of the system is derived using a combined Euler-Lagrange and assumed mode methods (AMM). The controller reduces nonlinearities problem that can be efficiently solved using NN control. The system responses namely hub angular position and deflection responses and end-point acceleration at both links are obtained and analysed. The performances of the controllers are assessed in terms of the input tracking controller capability of the system. Moreover, the robustness of the NN control schemes is discussed. Finally, a comparative assessment of the control strategies is presented. The results show that NN controller performs give increasing profiles that compared with PID control.

Keywords: AMM, NN control, two-link flexible robot manipulator.

INTISARI

Paper ini menyajikan pengembangan sistem kendali NN pada robot lengan lentur dua link dengan beban 0,5 kg. Model dinamik menggunakan kombinasi teknik Lagrangian dan Assumed Mode Method (AMM). Sistem kendali NN mengurangi problem ketidaklinearan secara efisien. Respons sistem yang meliputi sudut posisi, defleksi, dan kecepatan pada ujung kedua link diperoleh dan dianalisa. Kinerja sistem kendali ditentukan melalui kemampuan melacak input. Kekokohan sistem kendali NN juga dipaparkan dalam paper ini. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa performa sistem kendali NN memberikan peningkatan kinerja dibandingkan menggunakan sistem kendali PID.

Kata kunci: Assumed Mode Method, kendali NN, robot lengan lentur dua link.

INTRODUCTION

Flexible manipulators have several advantages over rigid robots: they require less material, are lighter in weight, consume less power, require smaller actuators, are more manoeuvrable and transportable, have less overall cost and higher payload to robot weight ratio. The main goal of modelling of a two-link flexible manipulator is to achieve an accurate model representing the actual system behaviour. It is important to recognize the flexible nature and dynamic characteristics of the system and construct a suitable mathematical framework. Previous study utilising the assumed mode method (AMM) for modelling of a single-link flexible manipulator has

shown that the first two modes are sufficient to identify the dynamic of flexible manipulators. A good agreement between theory and experiments has been achieved [1]. However, the complexity of the modelling process increases dramatically as compared to the case of a single-link flexible manipulator. Dogan and I Stefanopoulos [2] have developed the finite element models to describe the deflection of a planar two-link flexible robot manipulator. De Luca and Siciliano [3] and M. Khairudin *et. al.* [4] have utilised the AMM to derive a dynamic model of multilink flexible robot arms limiting to the case of planar manipulators with no torsional effects. Subudhi and Morris [5] have also presented a systematic approach for deriving the dynamic equations

¹moh_khairudin@uny.ac.id

for n-link manipulator where two-homogenous transformation matrices are used to describe the rigid and flexible motions respectively.

There is a great interest in the development of control strategies for use with a two link flexible manipulators at present. The difficulties of flexible manipulator control are exacerbated by the fact that control inputs as well as external disturbances induce flexural vibrations in the manipulator structures. A number of control methods have been proposed for control of a two-link flexible manipulators. A PD controller was also designed by Shengping, *et. al.* [6], whose purpose is to maintain stabilization of the robot system after the capture of the object. The dynamical simulations are carried out in two cases: the robot system is uncontrolled and controlled after impact. Payo et al [7] proposed a PID controller for force and constrained motions of the flexible manipulator. A combined PD control for vibration control of a single-link flexible manipulator using an array of fiber optic curvature sensors and PZT actuators have also been proposed [8].

Tian and Collin [9] showed a learning controller and a feedforward controller for control of a two-link flexible manipulator system. In the feedback loop, a fuzzy logic controller is used to provide control signals for the manipulator system. In the learning controller, a dynamic recurrent neural network contains a state feedback and provides more computational advantages than a back-propagation neural network and models the inverse dynamics of the manipulator system. Gutierrez [10] proved that the tracking performance of the NN controller is far better than that of the PD or PID standard controllers. Tian and Collin [11] show a good performance control using adaptive neuro fuzzy control of a single link flexible manipulator. Subudhi and Moris [12] developed a hybrid fuzzy neural control scheme for a multi-link flexible manipulator. It applies the strategy for end-point tracking of a single-link flexible manipulator.

However, most of the published work on neural network was based on simulation exercises. Moreover, not

much established work using nn control of a two-link flexible manipulator with payload is reported. Moreover, not much work on nn controller of a two-link flexible manipulator with payload been reported. This is a challenging task for a MIMO system and the system behaviour is affected by several factors. This paper mainly presents an investigation into the dynamic modelling and nn control of a two-link flexible robot manipulator incorporating payload. The payloads are attached at the end-point of the second-link whereas hub inertias are considered at the actuator joints. Simulation of the dynamic model is performed in Matlab and Simulink. System responses namely hub angular position and deflection are evaluated. Moreover, the works investigates the effects of varying payload on the dynamic characteristics of the system. The work presented forms the basis of design and development of suitable control strategies for two-link flexible manipulator systems. The rest of the paper is structured as follows: the second part provides a brief description and modelling of the two-link flexible manipulator system considered in this study. Next part introduces the nn control which in this study using neural network and the controller constraints taken into account. Simulation results comparing the performance of the NN controller with the conventional PID case numerically are presented in part before conclusion and the paper is concluded in last part.

METHOD

Dynamic Modelling of a Two-link Flexible manipulator. Figure 1 shows a structure of a two-link flexible manipulator system considered in these investigations. The links are cascaded in a serial fashion and are actuated by rotors and hubs with individual motors. The i th link has length l_i with uniform mass density per unit length ρ_i . The first link is clamped at the rotor of the first motor whereas the second motor is attached at the tip of the first link. E and I represent Young modulus and area moment of inertia of both links respectively. A payload is attached at the end-point of link-2. $X_0 Y_0$

is the inertial co-ordinate frame, $X_i Y_i$ is the rigid body coordinate frame associated with the i th link and $\hat{X}_i \hat{Y}_i$ is the moving coordinate frame. θ_1 and θ_2 are the angular positions and $v_i(x_i, t)$ is the transverse component of the displacement vector. M_p is an inertial payload mass with inertia J_p at the end-point of link-2. Table 1 summarises the parameters of the system.

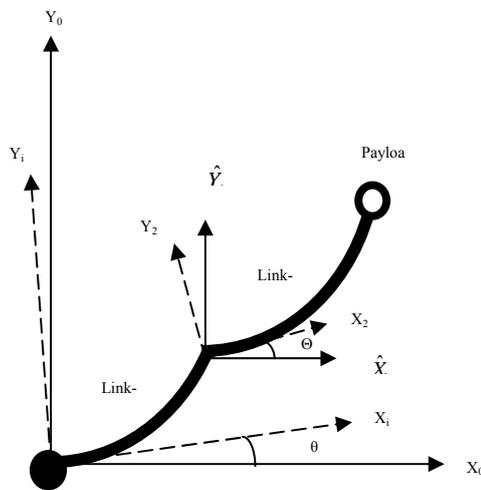


Figure 1. Structure of a two-link flexible manipulator.

Table 1. Parameters of a two-link flexible manipulator

Symbol	Parameter	Value	Unit
$M_{L1}=M_{L2}$	Mass of link	0.08	kg
ρ	Mass density	0.2	kgm ⁻¹
G	Gear ratio	1	-
EI	Flexural rigidity	1.0	Nm ²
J_h	Motor and hub inertia	0.02	kgm ²
M_p	Payload mass	0.3	kg
	Payload mass min	0	
l	Length	0.5	
	Payload inertia	0.001	kgm ²
I_p	Payload inertia max	5	
	Payload inertia min	0	
M_{h2}	Mass of the centre rotor	0.2	kg

The developed modelling based on a combined Euler-Lagrange and AMM simulation algorithm characterising the dynamic behaviour of the two-link flexible

manipulator system. The description of kinematics is developed for a chain of n serially connected flexible links.

To derive the dynamic equations of motion of a two-link flexible manipulator, the total energies associated with the manipulator system needs to be computed using the kinematics formulations. The total kinetic energy of the manipulator is given by:

$$T = T_R + T_L + T_{PL} \dots\dots\dots (1)$$

where T_R , T_L and T_{PL} are the kinetic energies associated with the rotors, links and the hubs, respectively. Furthermore, the time derivative of the global transformation matrix \dot{T}_i can be recursively calculated from [3]. [4]

$$\dot{T}_i = \dot{T}_{i-1}A_i + \hat{T}_{i-1}\dot{A}_i, \dot{T}_i = T_iE_i + T_i\dot{E}_i \dots (2)$$

The total potential energy of the system due to the deformation of the link i by neglecting the effects of the gravity can be written as.

$$U = \sum_i^n \frac{1}{2} \int_0^{l_i} (EI)_i \left(\frac{d^2 v_i(x_i)}{dx_i^2} \right)^2 dx_i \dots (3)$$

where EI is the flexural rigidity of the system. The dynamics of the link at an arbitrary spatial point x_i along the link at an instant of time t can be written using Euler-Beam theory as

$$(EI)_i \frac{\partial^4 v_i(x_i, t)}{\partial x_i^4} + \rho_i \frac{\partial^2 v_i(x_i, t)}{\partial t^2} = 0 \dots\dots (4)$$

On the other hand, bending deflections $v_i(x_i, t)$ can be expressed as a superposition of mode-shapes and time dependent modal displacements as

$$v_i(x_i, t) = \sum_{j=1}^{n_m} \phi_{ij}(x_i) q_{ij}(t) \dots\dots (5)$$

where $q_{ij}(t)$ and $\phi_{ij}(x_i)$ are the j th modal displacement and j th mode shape function for the i th link.

$$\phi_{ij}(x_i) = m_i [\cos(\beta_{ij}x_i) - \cosh(\beta_{ij}x_i + \gamma_{ij}(\sin(\beta_{ij}x_i) - \sinh(\beta_{ij}x_i)))] \dots\dots (6)$$

where m_i is the mass of link i and γ_{ij} is given-as.

$$\gamma_{ij} = \frac{\sin \beta_{ij} - \sinh \beta_{ij} + \frac{M_{L_i} \beta_{ij}}{\rho_i} (\cos \beta_{ij} - \cosh \beta_{ij})}{\cos \beta_{ij} + \cosh \beta_{ij} - \frac{M_{L_i} \beta_{ij}}{\rho_i} (\sin \beta_{ij} - \sinh \beta_{ij})} \dots\dots (7)$$

In this work, the dynamic model of the system incorporating payload is investigated. In this case, the effectiveness masses at the end of the individual links (M_{L1} for link-1 and M_{L2} for link-2) are set as

$$M_{L1} = m_2 + m_{h2} + M_p \dots\dots (8)$$

$$M_{L2} = M_p$$

and the effectiveness inertia of the individual links (J_{L1} for link-1 and J_{L2} for link-2) are

$$J_{L1} = J_{o2} + J_{h2} + J_p + M_p l_2^2 \dots\dots (9)$$

$$J_{L2} = J_p$$

where m_2 is the mass of link-2 and J_{o2} is the joint inertia of link-2 about joint-2 axis. The co-ordinate vector consists of link positions, (θ_1, θ_2) and modal displacements $(q_{11}, q_{12}, q_{21}, q_{22})$. The force vector is $F = \{\tau_1, \tau_2, 0, 0, 0, 0\}^T$, where τ_1 and τ_2 are the torques applied at the hubs of link-1 and link-2, respectively. The dynamic equations of motion of a two-link flexible manipulator can be derived by utilizing the Euler-Lagrange's.

Equations with the Langrangian, $L = T - U$. With $i = 1$ and 2 and $j = 1$

and 2 , the equation can be obtained as:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \tau_i \dots\dots\dots (10)$$

and

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_{ij}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_{ij}} = 0 \dots\dots\dots (11)$$

Considering the damping, the desired dynamic equations of motion of a two-link flexible manipulator can be obtained as

$$M(\theta, q) \begin{Bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{q} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_1(\theta, \dot{\theta}) \\ f_2(\theta, \dot{\theta}) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} g_1(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \\ g_2(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ D\dot{q} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tau \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

Design of Neural Network, An intelligent control in this study using neural network method. The bell shaped curves in the hidden nodes indicate that each hidden layer node represents a bell shaped NN that is centered on a vector in the feature space. There are no weights on the lines from the input nodes to the hidden nodes. The input vector is fed to each m -th hidden node where it is put through the nodes radial basis function:

$$y_m = f_m(x) = \exp[-\|x - c_m\|^2 / (2\sigma^2)] \dots\dots (13)$$

where $\|x - c_m\|^2$ is the square of the distance between the input feature vector x and the center vector c_m for that radial basis function.

The values (y_m) are the outputs from the radial basis functions. These radial basis functions on a 2-dimensional feature space have the form shown in the simple graph below. The values equidistant from the center in all directions have the same values, so this is why these are called radial basis functions. The outputs from the hidden layer nodes are weighted

by the weights on the lines and the weighted sum is computed at each j-th output node as

$$z_j = (1/M) \sum_{(m=1,M)} u_{mj} y_m \dots\dots (14)$$

The mean square error function that is to be minimized by adjusting the parameters $\{u_{mj}\}$ is similar to the one for back propagation NN except that this one is much simpler to minimize. There is only one set of parameters instead of two as was the case for back propagation NNs. Upon suppressing the index q has:

$$E = (1/J) \sum_{(j=1,J)} (t_j - z_j)^2 \dots (15)$$

Thus

$$\begin{aligned} \partial E / \partial u_{mj} &= (\partial E / \partial z_j) (\partial z_j / \partial u_{mj}) \\ &= [(-2/J) \sum_{(j=1,J)} (t_j - z_j)] (y_m / M) \dots (16) \end{aligned}$$

Upon putting this into the steepest descent method

$$\begin{aligned} u_{mj}^{(k+1)} &= u_{mj}^{(k)} + \\ &[2\eta / (JM)] \sum_{(j=1,J)} (t_j - z_j) y_m \dots\dots (17) \end{aligned}$$

where η is the learning rate, or step size, as before. Upon training over all Q feature vector inputs and their corresponding target output vectors, Equation (34) becomes

$$\begin{aligned} u_{mj}^{(k+1)} &= u_{mj}^{(k)} + [2\eta / (JM)] \\ &\sum_{(q=1,Q)} \sum_{(j=1,J)} (t_j^{(q)} - z_j^{(q)}) y_m^{(q)} \dots\dots (18) \end{aligned}$$

There is still some missing information that have before it can implement an algorithm for training a NN on a given data set $\{\{x^{(q)} : q = 1, \dots, Q\}, \{t^{(q)} : q = 1, \dots, Q\}\}$ (here the feature vectors for training (the exemplar vectors) and paired with the target vectors by the index q). We still don't know the center vectors $\{c^{(m)} : m = 1, \dots, M\}$ on which to center the radial basis functions. It also don't know M and don't know the spread parameter σ . There are different methods to get these. The original method is to use the exemplar vectors $\{x^{(q)} : q = 1$

, ..., Q} as the centers by putting $c^{(m)} = x^{(q)}$ for $m = 1, \dots, Q$. This is satisfactory when the exemplar feature vectors are scattered well over the feature space, which means must be numerous and cover all possible classes.

This paper presents techniques for achieving the control in two-link flexible robot manipulator. First one is Proportional-Integral-Derivative (PID) controller with its control by use NN controller. Dependent upon the values of K_p , K_i , and K_d are the stability, settling time, maximum overshoot and many other system performance indicators. In this paper a PID controller is used in control of a two link-flexible manipulator, the block diagram of a PID controller is shown in Figure 2.

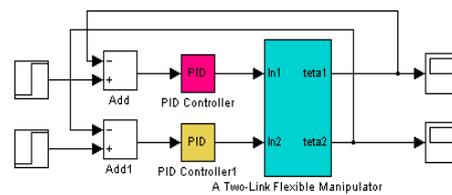


Figure 2. The schematic of PID Controller

The Neural Network controller based on PID controller has been used for control of a two-link flexible manipulator systems, The block diagram of schematic of a Neural Network controllers is shown in Figure 3.

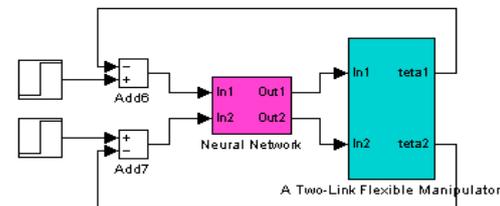


Figure 3. The schematic of the neural network controller.

DISCUSSION

In this section, simulation results of NN control of the two-link flexible manipulator with Payload are presented. A step signal with amplitude of ± 0.4 rad is used as an input position in radian applied at the hub of link-1 of the mani-

pulator. The same form of signal with amplitude of ± 0.8 rad is used as the input signal for link-2. Three system responses namely the hub angular positions and deflections and end-point acceleration for both links are obtained and evaluated. Moreover, the effects of varying payload on controller performances are also studied. For these investigations, the system without payload, and the system with payloads of 0.5 kg are considered.

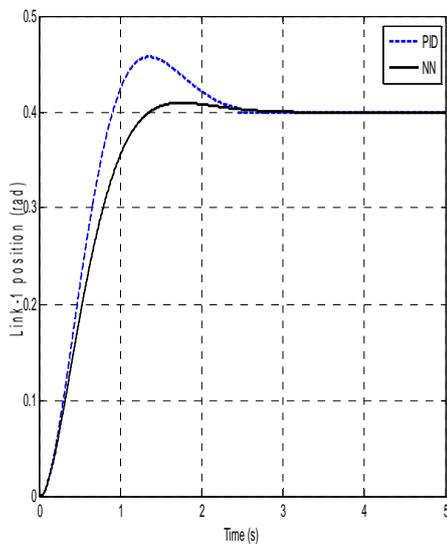


Figure 4. Link-1 position of the system with load 0.5 kg

Simulation of the developed dynamic model was implemented within the Matlab and Simulink environment on Intel Pentium 1.60 GHz and 1.99 GB RAM. The system responses are monitored for duration of 5 s, and the results are recorded with a sampling time of 10 ms. The angular position, deflection responses and end-point acceleration were obtained. For evaluation of the time response of the angular position, settling time and overshoot of the response are obtained. Finally, both NN controller and PID controller results are compared to examine the accuracy of the developed control algorithm. In this study, the task of the controller is for input tracking capability of the system. The angular position of link-1 and link-2 are fed back to control of a two-link flexible manipulator with varying payload.

Figure 4 and 5 show the angular positions of the two-link flexible manipulator with payload 0.5 kg for both links. Both using NN control and PID control results show similar results for link-1 and link-2, where steady state angular position levels of 0.4 rad and -0.8 rad were achieved respectively. The transient response specifications of the angular position for both links are summarised in Table 2. Using NN control, the system exhibits lower settling times and smaller overshoots for both links compared using Z-N PID.

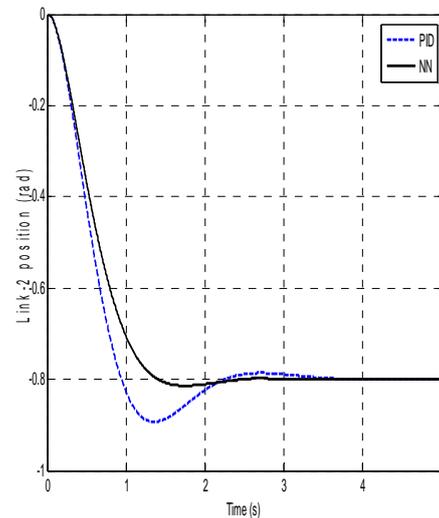


Figure 5. Link-2 position of the system with load 0.5 kg

Figures 6 and 7 show the deflection responses for link-1 and link-2 of the two-link flexible manipulator with payloads 0.5 kg respectively using NN control and PID control. It is noted with increasing payloads, the magnitudes of vibration of the deflection increase for both links. However, the magnitudes of vibration of the deflection responses decrease for both links with NN control compared with PID control. Table 3 summarizes the maximum magnitudes of the responses for link-1 and link-2 achieved with NN control and PID control.

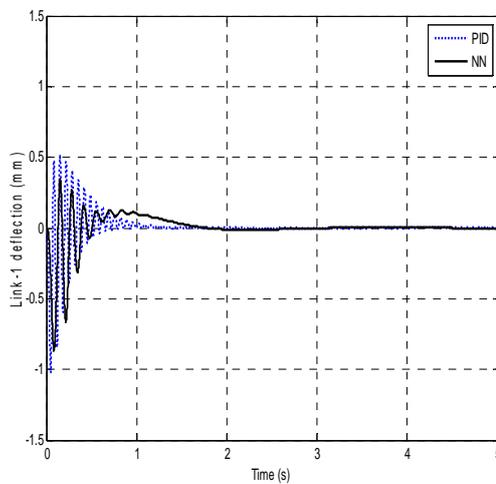


Figure 6. Link-1 deflection of the system with load 0.5 kg

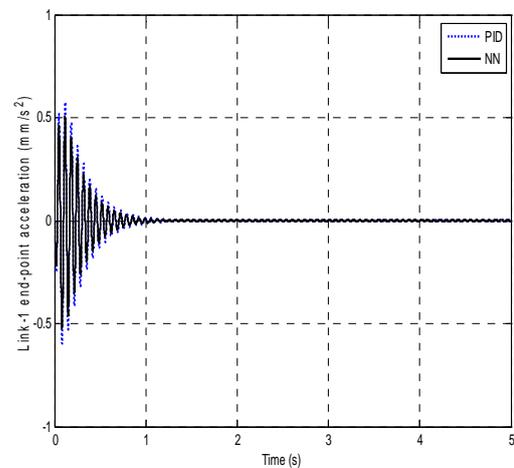


Figure 8. Link-1 end-point acceleration of the system with load 0.5 kg

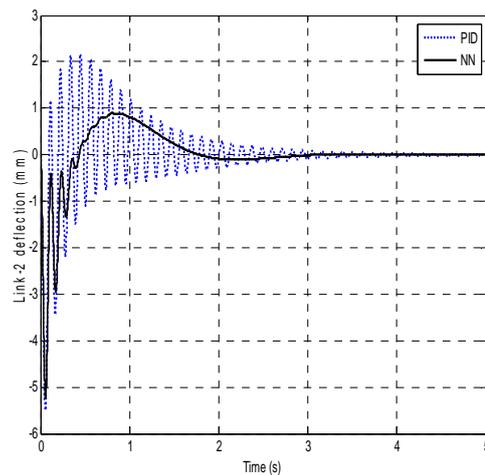


Figure 7. Link-2 deflection of the system with load 0.5 kg

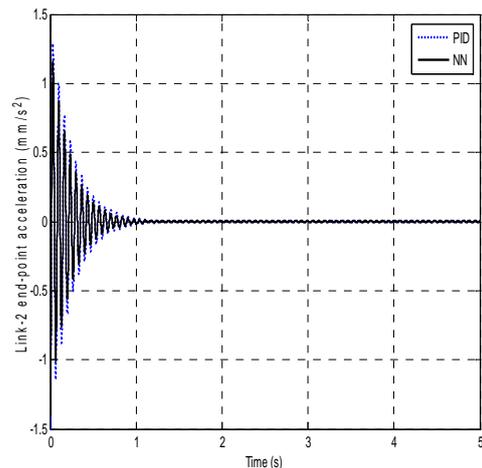


Figure 9. Link-2 end-point acceleration of the system with load 0.5 kg

In this work, the end-point acceleration is utilised to investigate the effects of payload on the dynamic behaviour of the system. Figure 8 and 9 show the end-point acceleration responses with payloads of 0.5 kg for both links. The relations between the resonance frequencies of the deflection with payloads are summarized in Table 4. It is noted that the oscillation of vibration of the system increase with increasing payloads. This implies that the manipulator oscillates at higher oscillation rates than those without payload.

CONCLUSIONS

The development of dynamic model and a nn controller of a two-link flexible manipulator incorporating structural damping, hub inertia and payload have been presented. The model has been developed using a combined AMM and Euler-Lagrange approach. This nn controller is efficient and easy to carry on. The nn controller used has better than PID controller, as it can assume very different type of trajectory with training the controller for it. Simulations of the dynamic model have been carried out in the time where the system responses

including angular positions, modal displacements and end-point acceleration are studied. The results show that the performance of the control system is improved greatly with the proposed controller, greatly decreasing the tip deflection of the second link and also enhancing the steady state accuracy for both links.

Simulation results have shown that significant vibration occurs during

movement of the system. It is found that the various payloads significantly affected the system behaviour both in time and frequency domains. These results are very helpful and important in the development of effective control algorithms for a two-link flexible robot manipulator incorporating payload.

Table 2. Relation between payloads and specification of angular positions

Payloads (kg)	Time responses specification of angular positions							
	Link-1				Lnk-2			
	Settling time (s)		Overshoot (%)		Settling time (s)		Overshoot (%)	
	NN	PID	NN	PID	NN	PID	NN	PID
0.5	1.79	2.24	1.95	14.35	1.27	2.08	1.94	13.6

Table 3. Relation between payloads and deflection responses

Payloads (kg)	Deflection responses of the system							
	Link-1 (mm)				Link-2 (mm)			
	PID		NN		PID		NN based PID	
0.5	-1.10	0.50	-0.85	0.38	-5.50	2.17	-5.12	0.65

Table 4. Relation between payloads and end-point acceleration responses

Payloads (kg)	End-point acceleration responses of the system							
	Link-1 (mm/s ²)				Link-2 (mm/s ²)			
	PID		NN based PID		PID		NN based PID	
0.5	-0.6	0.57	-0.50	0.50	-1.4	1.2	-1.0	0.8

REFERENCES

- Martins J. M., Mohamed Z., Tokhi M. O., Sa da Costa J. and Botto M. A. Approaches for dynamic modelling of flexible manipulator systems, *IEE ProcControl Theory and Application*, Vol. 150, 401-411. 2003.
- Dogan, M., and Istefanopulos, Y. Optimal nonlinear controller design for flexible robot manipulators with adaptive internal model, *IET Control Theory and Applications*, 1, (3), pp. 770-778. 2007.
- De Luca A. and Siciliano B. Closed-form dynamic model of planar multi-link lightweight robots, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 21, 826-839. 1991).
- M. Khairudin, Z. Mohamed, A.R. Husein, M.A. Ahmad. Dynamic Modelling and Characterization of A Two-Link Flexible Manipulator. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration Active Control*. 2010; 29(3): 207-219.
- Subudhi B. and Morris A. S. Dynamic modelling, simulation and control of a manipulator with flexible links and joints, *Robotics and*

- Autonomous System*, Vol. 41, 257-270. 2002.
- Shengping, L. Licheng, W. Zhen L. Impact dynamics and control of a flexible dual-arm space robot capturing an object. *Journal Applied Mathematics and Computation* 185. pp. 1149–1159. 2007.
- Payo, I., Feliu, V., Cortazar, O.D. Force control of a very lightweight singlelink flexible arm based on coupling torque feedback, *Mechatronics*,10.(003). 2008.
- Gurses, K., Buckham, B.J., Park, E.J. Vibration control of a single-link flexible manipulator using an array of fiber optic curvature sensors and PZT actuators, *Mechatronics* 19, 167–177. 2009.
- Tian L., and Collins C.. A dynamic recurrent neural network based controller for a rigid-flexible manipulator system, *Mechatronics*, vol. 14, pp. 471-490. 2004.
- Gutierrez, L. B. Lewis, F. L. and J. Andy Lowe. Implementation of a Neural Network Tracking Controller for a Single Flexible Link : Comparison with PD and PID Controllers. *IEEE Transaction on industrial electronics*. 45(2): 307-318.1998.
- Tian. L. Collins, C. Adaptive Neuro-Fuzzy Control of a Flexible Manipulator. *Mechatronics*. 15: 1305–1320. 2005.
- Subudhi B., and Morris AS. Soft Computing Method Applied to Control of a Flexible Manipulator. *Applied Soft Computing*. 9: 149-158. 2009.

PRODUKSI MINYAK BIJI KAPUK DALAM USAHA PEMANFAATAN BIJI KAPUK SEBAGAI SUMBER MINYAK NABATI

Murni Yuniwati¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 11 Nopember 2011, revisi masuk : 9 Januari 2012, diterima: 25 Januari 2012

ABSTRACT

Kapok tree (Ceiba pentandra) is a member of small class Malvales, family Malvaceae. The plant is native to the shout America, Central of America and Caribia. It grow well at the tropical region. In fact the kapok seed contains fatty acid with higher economic value which is called kapok oil. Oil of kapok seed can be obtained from solid-liquid extraction methode. In this investigation, the extraction of kapok seed was carried out in the stirred tank with ethanol as a solvent. Extract was distilled to separate kapok seed oil from solvent. The variable of investigation were extraction temperature , stirring speed, ratio between solvent volume and mass of kapok seed , and size of kapok seed. Tthe extracted oil was analyzed by using gas chromatography to determine the fatty acid composition. The optimum condition of kapok seed extraction were obtained at boiling point of ethanol $\pm 78^{\circ}\text{C}$, stirring speed 400 rpm, ratio between solvent volum and mass of kapok seed is 16mL: 1gr, and size of kapok seed (-30 / 40) mesh or average diameter 0,065 cm. The corelation between mass transfer coefficient and these variables is shown in the dimensionless equation below :

$$Sh = 0,132 Re^{(0,5004)} \cdot Sc^{0,651} \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{-0,541} \quad \text{with the average error } 0,95 \%$$

Keywords :extraction, seed, kapok, etanol

INTISARI

Kapok randu merupakan pohon tropis yang tergolong ordo Malvales dan famili Malvaceae, berasal dari bagian utara Amerika Selatan, Amerika Tengah dan Karibia. Biji buah kapok memiliki kandungan utama minyak murni yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Minyak dalam biji kapok dapat dipisahkan dari biji kapok dengan cara ekstraksi. Penelitian dilakukan dengan mengekstrak minyak biji kapok dengan menggunakan pelarut etanol, dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas, pengaduk, serta pendingin balik. penelitian dilakukan dengan variasi suhu, kecepatan pengaduk, perbandingan pelarut dan bahan, serta ukuran butir biji kapok. Hasil ekstraksi didistilasi untuk memisahkan minyak dari etanol. Hasil minyak dianalisis dengan *gas chromatography* Kondisi proses ekstraksi minyak biji kapok menggunakan pelarut etanol adalah dengan menggunakan suhu didih pelarut $\pm 78^{\circ}\text{C}$, kecepatan pengaduk 400 rpm, perbandingan volume pelarut dengan biji kapok 16mL:1gr, dan ukuran butir lolos ayakan 30 mesh dan tertahan ayakan 40 mesh (-30 / 40) atau diameter rata- rata 0,065 cm. Hubungan koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dengan persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$Sh = 0,132 Re^{(0,5004)} \cdot Sc^{0,651} \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{-0,541} \quad \text{dengan ralat rata-rata } 0,95 \%$$

Kata Kunci :ekstraksi, biji, kapuk, etanol

¹murni_yuniwati@yahoo.com

PENDAHULUAN

Pembuatan biodiesel dari biji kapuk memerlukan dua tahap proses yaitu pengambilan minyak kemudian mereaksikan minyak dengan etanol menjadi biodiesel. Untuk melakukan perancangan alat ekstraktor minyak biji kapok membutuhkan data transfer massa minyak ke dalam pelarutnya serta kecepatan reaksi antara minyak dengan etanol. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan minyak dengan cara ekstraksi. Pada penelitian ini akan dipelajari tahap yang pertama yaitu memperoleh data transfer massa minyak ke dalam pelarutnya dalam proses ekstraksi

Dengan ekstraksi, minyak dalam biji dapat diambil secara optimal dan kemurnian minyak yang diperoleh lebih tinggi dibanding dengan cara yang lain seperti pengempaan maupun cara rendering. Sebagai pelarut dipilih etanol karena etanol dapat melarutkan minyak dengan baik, harga relatif lebih murah dari pelarut lain, disamping itu apabila minyak yang dihasilkan akan diolah menjadi biodiesel, maka minyak tersebut tidak perlu dipisahkan dari pelarutnya, langsung ditambahkan katalisator dan direaksikan dengan kondisi operasi tertentu. Hasil yang diperoleh dari reaksi ini berupa ester dan gliserol yang bisa langsung dipisahkan. Ester bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan gliserol bisa digunakan sebagai bahan kosmetik atau bahan peledak.

Transfer massa minyak biji kapuk dalam pelarut etanol dalam proses ekstraksi dapat disajikan dalam bentuk model matematis yaitu hubungan konstanta kecepatan transfer massa minyak biji kapuk ke dalam etanol dengan variable-variable yang mempengaruhinya. Untuk keperluan tersebut diperlukan data percobaan dengan berbagai variable antara lain pengaruh suhu proses, jumlah pelarut, kecepatan pengadukan serta ukuran butir biji kapuk, sebagaimana yang dipelajari dalam penelitian ini.

Pohon Kapuk randu atau kapuk merupakan pohon tropis yang tergolong ordo Malvales dan famili Malvaceae (sebelumnya dikelompokkan ke dalam

famili terpisah Bombacaceae), berasal dari bagian utara dari Amerika Selatan, Amerika Tengah dan Karibia, dan (untuk varietas *C. Pentandra* var. *guineensis*) berasal dari sebelah barat Afrika. Kata "kapuk" atau "kapok" juga digunakan untuk menyebut serat yang dihasilkan dari bijinya. Pohon ini juga dikenal sebagai kapas Jawa atau kapok Jawa, atau pohon kapas sutra. Juga disebut sebagai ceiba.

Pohon ini tumbuh hingga setinggi 60-70 m dan dapat memiliki batang pohon yang cukup besar hingga mencapai diameter 3 m. Pohon ini banyak ditanam di Asia, terutama di pulau Jawa, Indonesia, Malaysia, Filipina dan Amerika Selatan. (Juanda & Cahyono, 2003).

Dalam kehidupan sehari-hari, kapuk sangat dikenal semua lapisan masyarakat. Indonesia berpotensi sangat besar dalam hal tanaman kapuk ini. Kapuk randu (Sunda/Jawa) atau kapo (Madura) umumnya tumbuh di kawasan pinggir pantai serta lahan-lahan dengan ketinggian 700 meter di atas permukaan laut. Jenis pohon ini mulai berbunga dan berbuah pada usia 5-6 tahun dengan masa panen dilakukan setelah biji-biji kapuk berwarna kuning kelabu. Tanaman perkebunan ini berbeda dengan kapas yang dihasilkan dari tanaman kapas yang digunakan untuk bahan baku tekstil atau pakaian lainnya. Secara tradisional, kapuk digunakan sebagai bahan pembuat atau pengisi kasur dan saat ini dikembangkan aneka jenis keperluan lainnya.

Usaha budi daya kapuk sudah dilakukan sejak ratusan tahun silam, namun harus diakui belum berkembang baik. Masih ada sejumlah hambatan yang sebenarnya juga merupakan persoalan klasik selama dalam budi daya. Di berbagai daerah di Indonesia, pohon kapuk tumbuh seadanya di sekitar pekarangan rumah, budi daya kapuk secara teratur dan baik, cukup sulit ditemukan.

Dari 147 jenis kapuk yang dapat tumbuh di berbagai negara, terdapat dua jenis yang dapat menghasilkan produk yang cukup baik yakni *Indica* dan *Caribbaca*. *Indica* memiliki batang

pendek dan berdaun jarang serta menghasilkan 600 gelondongan (sekitar 20 kg serat/pohon/tahun). Pada jenis Caribbaca memiliki batang yang lebih tinggi, besar, berdaun lebat dan telah menghasilkan sekitar 2000 gelondongan (sekitar 80 kg serat/ pohon/tahun). Seiring dengan minimnya peningkatan nilai tambah kapuk menyebabkan budidaya pun terus menurun. Tidak ada dukungan sarana dan teknologi memadai serta minimnya permodalan semakin memerosotkan budi daya kapuk. Akibatnya kualitas dan produksi kapuk pun anjlok. Pada awal 1990-an, data yang ada menyebutkan luas areal tanaman kapuk sekitar 600 ribu ha (www.situshijau.co.id). Jumlah ini pun terus menurun tahun demi tahun.

Salah satu langkah untuk mengangkat lagi kapuk tersebut tentu dengan menawarkan manfaat produk olahan atau nilai tambah yang akan menguntungkan. Setidaknya melalui upaya memproduksi kapuk halus, kapuk bersih, kapuk daur ulang dan sejumlah jenis lainnya, diharapkan mendorong proses peningkatan budi daya tersebut. Selain itu potensi pengembangan kapuk masih mempunyai peluang yang cukup besar antara lain pemanfaatan biji kapuk dan bungkil kapuk.

Biji buah kapuk memiliki kandungan utama minyak yang apabila diolah dapat menghasilkan minyak nabati yang telah mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi dari biji kapuk. Saat ini biji kapuk belum banyak dimanfaatkan, padahal apabila biji kapuk diolah untuk diambil minyaknya akan sangat menguntungkan. Pengambilan minyak dari padatnya bisa dilakukan antara lain dengan cara ekstraksi. Dengan penelitian ini ingin dipelajari pengaruh kondisi proses terhadap kualitas dan kuantitas minyak yang diperoleh dengan cara ekstraksi minyak dari biji kapuk menggunakan etanol, sehingga dapat diketahui persamaan hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel variabel yang mempengaruhinya berupa persamaan matematis dalam bentuk kelompok tidak berdimensi. Persamaan tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk per-

cangan alat ekstraksi pengambilan minyak dari biji kapuk.

Ivan Kristia H. dan Rifky Rachmanto, mahasiswa Universitas Widya Mandala jurusan Teknik Kimia telah meneliti cara mendapatkan minyak biji kapuk. Dari penelitian ini didapatkan bahwa melalui proses ekstraksi dengan pelarut etanol bisa didapat minyak sebanyak 40 persen dari bahan biji kapuk, sedangkan dengan menggunakan pelarut N-hexane minyak yang didapat sebanyak 30 persen dari bahan biji kapuk (www.widyamandala.org).

Biji buah kapuk memiliki kandungan utama minyak sebesar 25,67% sampai 43,64%. Selain itu kandungan utama yang konsentrasinya cukup besar adalah kandungan protein dan *gossypol* (pigmen warna biji kapuk). Minyak yang didapat dari biji kapuk ini memiliki kandungan protein 36 hingga 44 persen. Biasanya minyak ini digunakan sebagai bahan baku pada industri makanan dan bahan baku dalam industri pembuatan minyak diesel. Minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*) merupakan salah satu jenis minyak nabati. Minyak nabati tersusun dari unsur-unsur C, H, O. Minyak biji kapuk randu merupakan campuran *triesther* gliserol dan asam lemak, yang secara umum disebut trigliserol. Asam lemak gliseridnya memiliki 15-20% asam lemak jenuh dan 80-85% asam lemak tak jenuh. (Bailey, 1946).

Karakteristik minyak biji kapuk randu adalah berwarna kuning pucat sampai coklat kehitam – hitaman dan pekat. Minyak biji kapuk merupakan minyak setengah mengering (non drying) yang berwujud cair dan mempunyai daya mengering lebih lambat bila terkena oksidasi (Sudarmadji, 1977).

Ekstraksi adalah suatu cara pemisahan komponen dari padatan atau cairan dipindahkan ke cairan yang lain yang berfungsi sebagai pelarut. Ekstraksi dapat dilakukan untuk campuran yang mempunyai titik didih berdekatan, sehingga tidak dapat dipisahkan dengan cara distilasi. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses ekstraksi yaitu : 1). Jenis pelarut. Pelarut yang ideal adalah pelarut yang memiliki sifat

tidak korosif, dan daya larut yang tinggi. 2). Perbandingan berat bahan dengan volume pelarut. Perbandingan ini akan mempengaruhi tegangan permukaan dari butir-butir bahan dan berpengaruh terhadap proses keluarnya minyak dari bijinya. 3) Suhu semakin tinggi suhunya akan memperbesar daya larutnya. 4). Kecepatan pengadukan pengadukan akan memperbesar frekuensi tumbukan antara bahan dengan pelarutnya. 6). Waktu ekstraksi, maka bsemakin besar waktu ekstraksiakan akan memperbesar kesempatan bahan kontak dengan pelarut.

Pada ekstraksi padat – cair, transfer massa solut dari padatan ke cairan berlangsung melalui dua tahapan proses, yaitu diifusi dari dalam padatan ke permukaan padatan dan transfer massa dari permukaan padatan ke cairan

Karena butir padatan cukup kecil, maka diambil asumsi bahwa konsentrasi solut dalam padatan selalu homogen atau serba sama, jadi dalam hal ini tidak ada gradien konsentrasi dalam padatan. Dengan kata lain, difusivitas efektif dalam padatan diabaikan. Dengan demikian, perpindahan massa dalam padatan dianggap tidak mengontrol perpindahan massa secara keseluruhan. Karena difusivitas efektif diabaikan, maka yang mengontrol perpindahan massa *overall* adalah perpindahan massa antarfase, dalam hal ini harga Koefisien transfer massa ($k_L a$) merupakan faktor yang menentukan. Dengan demikian dapat disusun neraca massa solut dalam cairan sebagai berikut :Kecepatan massa masuk – Kecepatan massa keluar = Kecepatan massa terakumulasi

$$k_L a (C_S - C_L) V_L = \frac{dC_L}{dt} V_L$$

Keterangan:

- $k_L a$: Koefisien transfer massa, 1/menit
- C_S : Konsentrasi keseimbangan minyak dalam etanol, gmol/L
- C_L : Konsentrasi minyak dalam etanol, gmol/L
- V_L : Volume larutan, L

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C_S - C_L)$$

$$\frac{dC_L}{(C_S - C_L)} = k_L a dt$$

$$-\ln (C_S - C_L) = k_L a .t \dots\dots\dots (1)$$

Dengan mengamati konsentrasi larutan setiap saat, dapatlah dibuat grafik hubungan antara $-\ln (C_S - C_L)$ versus t . Dari data pengamatan, akan diperoleh grafik garis lurus, dengan slopea koefisien transfer massa $k_L a$.

Dalam hal ini C_S dapat didekati dengan persamaan kesetimbangan, (Brown, 1978)

$$C_S = H.X \dots\dots\dots (2)$$

H: Konstanta Henry

X: Fraksi mol minyak dalam padatan

Perpindahan massa antar fase terjadi bila terdapat perbedaan konsentrasi dimana berpindah dari sistem yang lebih tinggi konsentrasinya ke sistem yang lebih rendah konsentrasinya. Faktor yang mempengaruhi perpindahan massa yaitu adanya gaya pendorong yang berupa gradien konsentrasi dari komponen dalam suatu fase. Gaya pendorong ini cenderung merubah kondisi sistem menuju kesetimbangan, konsentrasi di semua bagian dari sistem sama. Sedangkan koefisien transfer massa dipengaruhi oleh, gerakan molekul yang dipengaruhi oleh dinamika aliran. Dinamika aliran tersebut dipengaruhi pula oleh, suhu operasi, ukuran partikel, kecepatan aliran, densitas dan viskositas pelarut (Treybal, 1980)

Untuk menentukan persamaan hubungan antara koefisien transfer massa dengan faktor yang mempengaruhinya, Pada penelitian ini diperkirakan peubah-peubah yang berpengaruh terhadap koefisien perpindahan massa antar fasa pada proses ekstraksi padat-cair dengan menggunakan tangki berpengaduk adalah : 1). Densitas larutan, ρ . 2).Viskositas larutan, μ . 3). Difusivitas larutan, D_L . 4). Diameter pengaduk, dp .

5). Diameter butir padatan, db. 6). Kecepatan pengaduk, N.

Difusivitas solut ke dalam pelarut didekati dengan persamaan Wilke-Chang (Treybal, 1980) :

$$D_L = \frac{(117.3 \cdot 10^{-18})(\phi M_B)^{0.5} T}{\mu V_A^{0.6}} \dots\dots (3)$$

Dengan:

- D_L : difusivitas zat A ke dalam zat B
- Φ : faktor asosiasi pelarut
- M_B : berat molekul pelarut
- T : temperatur, K
- μ : viskositas larutan, g/cm.detik
- V_A : volum solut molar pada titik didih normal, cm³/gmol

Volume molar ditentukan dengan menggunakan hukum Kopp yang mengatakan bahwa volume molar disamping bersifat aditif juga bersifat konklusif. Sehingga volume molar suatu senyawa merupakan jumlah volum atomis atom-atom dan volume setara ikatan.

Volume atom beberapa unsur dan volum setara beberapa ikatan, dapat dilihat pada tabel 2 (Brown, 1978).

Tabel 2. Volume Atomis Beberapa Unsur

Unsur	Volume Atomis, cm ³ /gmol
Brom	27,0
Oksigen dalam aldehyd, keton dan mata rantai ganda	25,6
Oksigen dalam ester	7,9
Oksigen dalam ester yang tinggi dan eter	11,0
Oksigen dalam asam	12,0
Karbon	24,0
Khlor	24,6
Hidrogen	3,7
Nitrogen	15,6
Nitrogen dalam amina primer	10,5
Nitrogen dalam amina sekunder	12,0

Hubungan antara $k_L a$ dengan variabel-variabel yang berpengaruh dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$k_L a = f(\rho, \mu, D_L, dp, db, N) \dots\dots (4)$$

Persamaan (4) dapat dinyatakan dengan persamaan pangkat sebagai berikut :

$$k_L a = K \cdot \rho^{c1} \cdot \mu^{c2} \cdot D_L^{c3} \cdot dp^{c4} \cdot db^{c5} \cdot N^{c6} \dots\dots (5)$$

Kemudian dapat dikelompokkan menjadi kelompok bilangan tak berdimensi :

$$\frac{k_L a dp^2}{Dt} = K \left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^a \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^b \left[\frac{db}{dp} \right]^c \dots\dots (6)$$

atau

$$Sh = K \cdot Re^a \cdot Sc^b \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^c \dots\dots (7)$$

Dengan:

- Sh : Bilangan Sherwood
- Re : Bilangan Reynold
- Sc : Bilangan Schmid
- db/dp : Ratio diameter pengaduk dengan diameter butir

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kinetika transfer massa minyak ke dalam etanol pada proses ekstraksi minyak biji kapuk dengan pelarut etanol. Variabel yang dipelajari dalam penelitian ini adalah diameter partikel biji kapuk, kecepatan putar pengaduk, suhu ekstraksi, dan perbandingan bahan dengan pelarut. Dari data yang diperoleh dapat disusun persamaan matematis hubungan antara koefisien tranfer massa dengan variabel- variabel yang berpengaruh dalam bentuk kelompok tak berdimensi.

Dari data yang diperoleh dapat disusun persamaan dalam kelompok tak berdimensi yang dapat dimanfaatkan dalam perancangan alat, serta dapat diketahui kondisi operasi yang optimal untuk proses ekstraksi tersebut.

Apabila perancangan alat dalam skala besar bisa dilakukan termasuk alat-alat pembantunya, kemudian digunakan untuk memanfaatkan biji kapuk dari petani untuk diambil minyaknya, maka nilai ekonomi biji kapuk menjadi

meningkat, sehingga penghasilan petanipun akan meningkat.

Selanjutnya apabila diteliti lebih lanjut untuk pengolahan minyak yang dihasilkan menjadi biodiesel, maka terciptalah peluang kerja bagi masyarakat dalam pembuatan biodiesel sebagai energi alternatif bagi masyarakat, dari minyak biji kapuk.

METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 1). Biji kapuk randu dari petani kapuk di daerah Imogiri. Biji kapuk sudah dalam keadaan kering. 2). Etanol merupakan etanol teknis dengan kadar 95%, diperoleh dari Toko Tekun-jaya, Yogyakarta 3). Bahan-bahan lain untuk keperluan analisis

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat ekstraksi dan seperangkat alat distilasi. Alat ekstraksi berupa penangas minyak, labu leher tiga, thermometer, pendingin balik bola, motor pengaduk, dan statif.

Sedangkan alat distilasi berupa labu distilasi, pendingin lurus, termometer, statif, klem, corong, erlenmeyer, penangas minyak, pemanas listrik, dan termometer. Selain alat ekstraksi dan distilasi digunakan juga peralatan untuk analisis diantaranya adalah spektrofotometer, viskosimeter, piknometer, gas chromatography, dan sebagainya.

Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahap-tahap sebagai berikut: 1). Persiapan bahan baku. Biji kapuk yang sudah kering, ditumbuk kemudian diayak untuk memperoleh bahan dengan ukuran butir tertentu. 2). Ekstraksi minyak biji kapuk. Sejumlah bahan baku dengan pelarut etanol dalam perbandingan tertentu dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Penangas dijalankan, air pendingin dialirkan dan pengaduk dijalankan dengan kecepatan konstan. Ekstraksi dijalankan dengan interval waktu tertentu. Hasil ekstraksi disaring menggunakan kertas saring. 3. Destilasi minyak biji kapuk. Untuk memperoleh minyak biji kapuk randu, bisa dilakukan dengan pemisahan minyak dari pelrutnya dengan cara distilasi. Minyak biji kapuk

yang merupakan residu dari proses distilasi dimasukkan dalam oven untuk menghilangkan sisa etanol yang masih terdapat dalam minyak biji kapuk. Kemudian dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat yang konstan, hasilnya kemudian ditimbang.

PEMBAHASAN

Proses ekstraksi biji kapuk menggunakan pelarut etanol dalam reaktor tangki berpengaduk dilakukan dengan variasi suhu, kecepatan pengaduk, ukuran butir, serta perbandingan pelarut dengan bahan. Hasil percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1 untuk masing masing variabel.

Percobaan dilakukan menggunakan 25 gram biji kapuk dengan ukuran -30/+40 mesh, kecepatan pengadukan 300 rpm, perbandingan pelarut dengan bahan 10 mL/gr bahan, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3, Absorbansi larutan pada berbagai suhu dan waktu ekstraksi

Waktu	Absorbansi larutan pada berbagai suhu dan waktu ekstraksi					
	29°C	40°C	50°C	60°C	70°C	78°C
20	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0
	37	56	56	55	6	54
40	0,0	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0
	38	45	58	57	61	56
60	0,0	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0
	42	8	59	595	62	605
80	0,0	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0
	49	9	595	63	63	625
100	0,0	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0
	59	0,06	62	63	64	66
120	0,0	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0
	61	15	67	65	65	69

Dengan menggunakan grafik standard yaitu hubungan antara absorbansi larutan dengan konsentrasi minyak dalam g/mL, dapat diketahui konsentrasi minyak dalam larutan pada berbagai suhu dan waktu, dengan bantuan grafik keseimbangan fraksi massa minyak dalam padatan dan konsentrasi minyak dalam larutan, dapat dihitung koefisien transfer massa (k_1a) minyak biji kapuk ke dalam pelarut etanol

pada berbagai suhu. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabell 4.

Pada Tabel 4 serta Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu maka koefisien transfer massa akan semakin besar, karena suhu yang semakin tinggi akan membuat gerakan molekul dalam larutan akan lebih dinamis, sehingga transfer massa akan berjalan lebih cepat. Dari penelitian dengan variasi suhu ini dapat disimpulkan bahwa kondisi proses ekstraksi minyak biji kapuk dengan pelarut etanol paling baik dilakukan pada suhu didihnya. Apabila diinginkan suhu yang lebih tinggi maka akan membutuhkan tekanan yang lebih besar, sehingga biaya alat maupun biaya operasi lebih mahal.

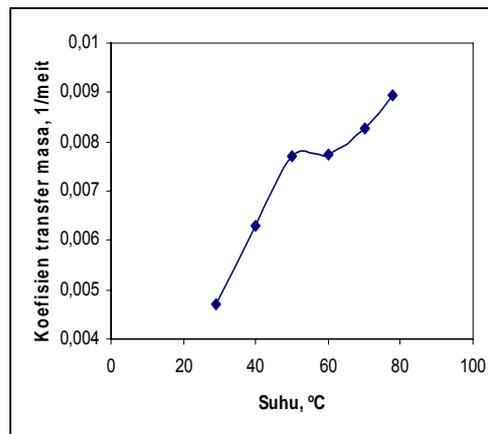
Tabel 4. Pengaruh suhu terhadap koefisien transfer massa

Suhu, °C	k_{La} , 1/menit
29	0,04697
40	0,00630
50	0,00771
60	0,00775
70	0,00826
78	0,00892

Hasil perhitungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan suhu ekstraksi dengan nilai koefisien transfer masa yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan 25 gram biji kapuk dengan ukuran -30/+40 mesh, pada suhu didih pelarut (78°C), perbandingan pelarut dengan bahan 10 mL/gr bahan, hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.

Dengan menggunakan grafik standard yaitu hubungan antara absorbansi larutan dengan konsentrasi minyak dalam g/mL, dapat diketahui konsentrasi minyak dalam larutan pada berbagai suhu dan waktu, kemudian dapat dihitung koefisien transfer masaa (kLa) minyak biji kapuk ke dalam pelarut etanol pada berbagai kecepatan pengaduk, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 1. Hubungan suhu ekstraksi dengan koefisien transfer massa minyak ke dalam etanol

Tabel 5. Absorbansi larutan pada berbagai kecepatan pengaduk dan waktu

Waktu	Absorbansi larutan pada berbagai kecepatan pengaduk dan waktu ekstraksi					
	100 rpm	200 rpm	300 rpm	400 rpm	500 rpm	600 rpm
20	0,05	0,056	0,05	0,06	0,06	0,05
40	0,05	0,057	0,05	0,06	0,06	0,05
60	0,06	0,059	0,06	0,06	0,06	0,06
80	0,06	0,06	0,02	0,06	0,06	0,06
100	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
120	0,06	0,068	0,06	0,07	0,06	0,07

Untuk melihat kecenderungan (trend) pengaruh kecepatan pengaduk terhadap koefisien transfer massa pada ekstraksi minyak dalam biji kapuk ke dalam pelarut etanol, hasil perhitungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan kecepatan pengaduk dengan nilai koefisien transfer massa yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari tabel 6. serta gambar 2. dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan pengaduk semakin besar koefisien transfer massa. Hal tersebut dikarenakan kecepatan pengadukan yang semakin tinggi akan membuat molekul- molekul bergerak semakin cepat. sehingga transfer massa akan berjalan lebih cepat, namun setelah tercapai kondisi optimal yaitu kecepatan pengaduk 400 rpm, penambahan kecepatan pengadukan justru menurunkan koefisien transfer massa, hal ini disebabkan dengan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya

vortex, sehingga turbulensi menurun, hal ini bisa dihindari dengan memberikan baffle pada ekstraktor. Dari penelitian dengan variasi kecepatan pengaduk, dapat disimpulkan bahwa kondisi proses ekstraksi minyak biji kapuk dengan pelarut etanol yang dilakukan dalam ekstraktor tanpa baffle adalah 400 rpm. Namun dalam praktek mungkin dapat dilakukan dengan kecepatan dalam pengadukan lebih tinggi lagi asal reaktor dilengkapi dengan baffle untuk mencegah terjadinya vortex.

Tabel 6. Pengaruh kecepatan pengaduk terhadap koefisien transfer massa

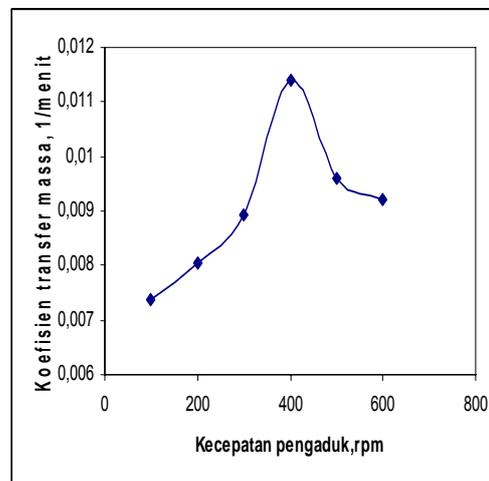
Kecepatan pengaduk, rpm	$k_L a, 1/mnt$
100	0,073815
200	0,008049
300	0,008924
400	0,001139
500	0,009605
600	0,009196

Proses Variasi ukuran butir, pada percobaan dilakukan dengan cara menggunakan 25 gram biji kapuk dengan kecepatan pengaduk 400 rpm, pada suhu didih pelarut (78°C), perbandingan pelarut dengan bahan 10 mL/gr bahan, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7. Dengan menggunakan grafik standard yaitu hubungan antara absorbansi larutan dengan konsentrasi minyak dalam g/mL, dapat diketahui konsentrasi minyak dalam larutan pada berbagai ukuran butir dan waktu, kemudian dapat dihitung koefisien transfer masaa ($k_L a$) minyak biji kapuk ke dalam pelarut etanol pada berbagai ukuran butir, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 8.

Hasil perhitungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan ukuran butir dengan nilai koefisien transfer masa yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari tabel 8 serta Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran butir semakin besar koefisien transfer massa, karena ukuran butir yang makin kecil akan memperluas permukaan kontak antara biji kapuk dengan pelarutnya,

sehingga transfer massa akan berjalan lebih cepat.



Gambar 2. Hubungan kecepatan pengaduk dengan koefisien transfer massa minyak ke dalam etanol

Tabel 7. Absorbansi larutan pada berbagai ukuran butir dan waktu ekstraksi

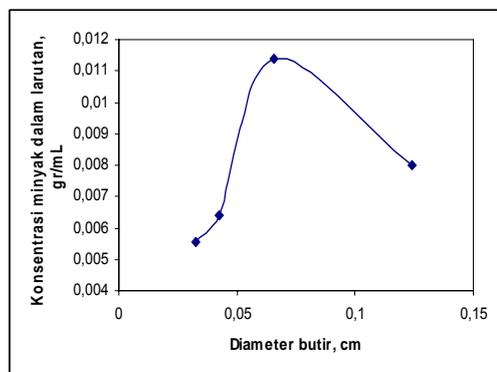
Waktu	Absorbansi larutan pada berbagai kecepatan pengaduk dan waktu ekstraksi			
	-20 / 30 mesh	-30 / +40 mesh	-40 / +50 mesh	-50 / +60 mesh
	20	0,054	0,064	0,055
40	0,056	0,065	0,056	0,055
60	0,059	0,067	0,057	0,0551
80	0,06	0,0679	0,058	0,057
100	0,063	0,069	0,061	0,058
120	0,068	0,07	0,0612	0,058

Tabel 8, Pengaruh ukuran butir terhadap koefisien transfer massa.

Ukuran butir, mesh	$k_L a, 1/menit$
-20/+30	0,00798
-30/+40	0,01139
-40/+50	0,00639
-50/+60	0,00553

Namun setelah tercapai kondisi optimal yaitu ukuran butir -30/+40 (diameter butir rata-rata 0,06572 cm), ukuran yang lebih kecil lagi menunjukkan hasil kurang bagus karena dengan

ukuran yang terlalu kecil, banyak butiran yang menggapung dan menempel pada dinding ekstraktor dan tidak kontak dengan pelarutnya.



Gambar 3. Hubungan ukuran butir dengan koefisien transfer massa minyak ke dalam etanol

Pada variasi perbandingan volume pelarut dengan massa biji kapuk. Percobaan tersebut dilakukan dengan menggunakan 25 gram biji kapuk dengan ukuran butir -30/+40 mesh, kecepatan pengaduk 400 rpm, dan pada suhu didih pelarut (78°C), hasilnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Dengan menggunakan grafik standard yaitu hubungan antara absorbansi larutan dengan konsentrasi minyak dalam g/mL, dapat diketahui bahwa konsentrasi minyak dalam larutan pada berbagai perbandingan volume pelarut dengan massa biji kapuk dan waktu, kemudian dapat dihitung koefisien transfer massa ($k_L a$) minyak biji kapuk ke dalam pelarut etanol pada berbagai perbandingan pelarut dan bahan, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10. Untuk melihat kecenderungan (trend) pengaruh perbandingan volume pelarut dengan massa bahan terhadap koefisien transfer massa pada ekstraksi minyak dalam biji kapuk ke dalam pelarut etanol, hasil perhitungan tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik hubungan perbandingan pelarut dengan bahan dengan nilai koefisien transfer masa yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pada Tabel 10 serta Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar perbandingan pelarut dengan bahan, semakin besar koefien transfer massa,

hal ini karena semakin banyak pelarut, molekul molekul lebih leluasa bergerak dan kontak dengan pelarutnya, sehingga transfer massa akan lebih besar. Namun penggunaan pelarut harus dapat dipertimbangkan dengan proses pemisahan yang menjadi lebih mahal karena membutuhkan panas yang besar. Dalam hal ini hasil ekstraksi akan langsung direaksikan dengan etanol dengan menggunakan katalisator menjadi biodiesel, bisa diatur berdasarkan kebutuhan perbandingan etanol dengan minyak biji kapuk untuk reaksi.

Tabel 9. Absorbansi larutan pada berbagai perbandingan pelarut dan massa bahan serta waktu ekstraksi

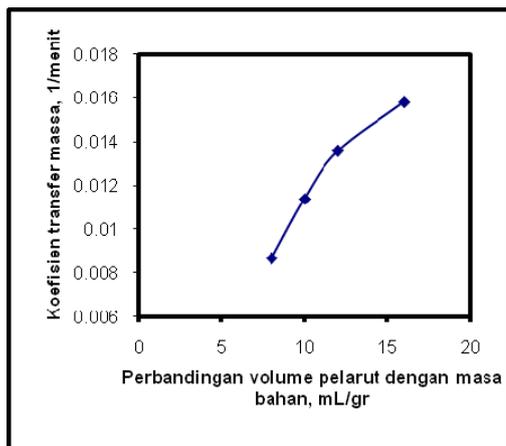
Waktu (menit)	Absorbansi larutan pada berbagai perbandingan volume pelarut dengan massa bahan (mL/gr) dan waktu ekstraksi			
	8	10	12	16
20	0,06	0,064	0,066	0,069
40	0,061	0,065	0,068	0,0699
60	0,061	0,067	0,0702	0,07
80	0,062	0,0679	0,0705	0,071
100	0,063	0,069	0,071	0,072
120	0,069	0,07	0,0712	0,073

Tabel 10. Konsentrasi minyak dalam larutan pada berbagai perbandingan pelarut dengan massa bahan dan waktu. (berat bahan = 25 gr, ukuran = -30/+40 mesh, pada suhu 78°C dan kecepatan pengaduk 400 rpm)

Waktu (menit)	Konsentrasi minyak pada berbagai perbandingan pelarut dengan massa bahan dan waktu ekstraksi, mL/gr			
	8	10	12	16
20	0,001	0,0017	0,0019	0,0021
40	0,001	0,0018	0,0020	0,0022
60	0,001	0,0020	0,00227	0,00225
80	0,001	0,0020	0,00229	0,00234
100	0,001	0,0021	0,00234	0,0024
120	0,002	0,0022	0,00235	0,00251
$k_L a$,	0,008	0,0113	0,01356	0,0157

Persamaan matematis dalam bentuk kelompok tak berdimensi. Pada pengukuran variabel variabel yang

mempengaruhi koefisien transfer massa pada setiap titik percobaan yaitu densitas, larutan, viskositas larutan, kecepatan pengadukan, diameter butir, diameter pengaduk, difusifitas dan sebagainya, dapat disusun persamaan matematis dalam bentuk kelompok tak berdimensi.



Gambar 4. Hubungan perbandingan pelarut dan bahan dengan koefisien transfer massa minyak ke dalam etanol

Data dan hasil perhitungan tersebut, selanjutnya digunakan untuk menentukan persamaan hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dalam bentuk kelompok tak berdimensi. Analisis perhitungan menggunakan metode regresi linier, dengan hasil sebagai berikut :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = 0,132$$

$$\left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^{(0,5004)} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{(0,651)} \left[\frac{db}{dp} \right]^{(-0,541)}$$

$$Sh = 0,132 Re^{(0,5004)} \cdot Sc$$

$$0,651 \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{-0,541}$$

dengan ralat rata-rata 0,95 %

Komposisi minyak biji kapuk hasil penelitian. Komposisi minyak biji kapuk

yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis dengan menggunakan *gas chromatography* (GC) di laboratorium penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada), hasil analisis bisa dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Minyak Biji Kapuk

Parameter Uji	Hasil Uji	Satuan
Asam Kaprat	14,83	% relatif
Asam Laurat	5,34	% relatif
Asam Miristat	8,71	% relatif
Asam Miristoleat	2,07	% relatif
Asam palmitat	18,91	% relatif
Asam Oleat	49,99	% relatif
Asam Linoleat	0,99	% relatif
Asam Arasidat	1,09	% relatif
Asam Behenat	0,06	% relatif

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan diantaranya bahwa kondisi proses ekstraksi minyak biji kapuk menggunakan etanol adalah dengan menggunakan suhu didih pelarut $\pm 78^\circ\text{C}$, kecepatan pengaduk 400 rpm, perbandingan volume pelarut dengan biji kapuk 16:1, dan ukuran butir lolos ayakan 30 mesh dan tertahan ayakan 40 mesh (-30 / 40) atau diameter rata- rata 0,065 cm.

Selain itu hubungan antara koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dengan persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi sebagai berikut :

$$\frac{k_L a \cdot dp^2}{D_L} = 0,132$$

$$\left[\frac{N \cdot dp^2 \rho}{\mu} \right]^{(0,5004)} \left[\frac{\mu}{\rho \cdot D_L} \right]^{(0,651)} \left[\frac{db}{dp} \right]^{(-0,541)}$$

$$Sh = 0,132 Re^{(0,5004)} \cdot Sc$$

$$0,651 \cdot \left[\frac{db}{dp} \right]^{-0,541}$$

dengan ralat rata-rata 0,95 %.

DAFTAR PUSTAKA

Bailey, A.E., 1946, *Industrial Oil and Fat Product*, Interscience Publisher, Me., New York.

Brown, G.G., 1978, *Unit Operations*, pp. 510-540, Charles E. Tuttle Co, Tokyo

Cahyono, Bambang., 2003, *Budi Daya dan Analisis Usaha Tani Kapuk*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta

Groggins, P. H., 1958, *Unit processing Organics Synthesis*, 5th ed, pp. 670 – 728, Mc. Graw Hill Book Company Inc, New York

Sudarmadji, S., 1997, *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan & Pertanian*, hal. 83 – 96, Liberty, Yogyakarta.

Treybal, R.E., 1980, *Mass Transfer Operations*, McGraw-Hill Book Co., New York.

Winarno, F.G., 1986, "Kimia Pangan dan Gizi", hal. 88-99, Gramedia, Jakarta

www.widyamandala.org

www.situshijau.co.id.

OPTIMALISASI PEMANFAATAN BIJIH NIKEL KADAR RENDAH DENGAN METODE BLENDING DI PT. ANTAM Tbk. UBPN SULTRA

Musnajam¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas 19 November Kolaka, Sulawesi Tenggara

Masuk: 8 Nopember 2011, revisi masuk : 3 Januari 2012, diterima: 25 Februari 2012

ABSTRACT

Nickel ore is in the region Pomalaa, including the type formed by lateritic weathering of ultramafic rocks (peridotite, serpentine) mineral-rich olivine ((Mg, Fe) $2SiO_4$) and piroksin (AB Si_2O_6), The study was conducted to determine the handling and utilization of low grade nickel ore is carried out by PT Antam Tbk. UBPN Southeast Sulawesi. From the research, found that the amount of tonnage of low grade nickel ore (COG <1.8% Ni) compared with high-grade nickel ore (COG > 1.8% Ni). It requires handling as well as on the optimal utilization of low grade nickel ore, which in turn will support the survival of the company.

Keyword : Nickel ore, blending, processing, Cut Of Grade

INTISARI

Bijih nikel yang berada pada daerah Pomalaa termasuk dalam jenis laterit yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik (*peridotite, serpentine*) yang kaya akan mineral olivin ((Mg,Fe) $_2SiO_4$) dan piroksin (AB Si_2O_6), Penelitian dilakukan untuk mengetahui penanganan dan pemanfaatan bijih nikel kadar rendah yang dilakukan oleh PT ANTAM, Tbk. UBPN Sulawesi Tenggara. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa jumlah tonase bijih nikel kadar rendah (COG < 1,8 % Ni) lebih banyak dibandingkan dengan bijih nikel kadar tinggi (COG > 1,8 % Ni). Hal ini membutuhkan penanganan serta pemanfaatan yang optimal pada bijih nikel kadar rendah yang pada akhirnya akan mendukung *survive* dari perusahaan.

Kata Kunci : Bijih Nikel, blending, pengolahan, Cut Of Grade

PENDAHULUAN

Sumber daya mineral memiliki sifat khusus dibandingkan dengan sumber daya yang lain, yaitu *wasting assets* atau *non renewable resources* yang artinya apabila bahan galian tersebut ditambang disuatu tempat maka bahan galian tersebut tidak akan terbarui kembali atau dengan kata lain industri pertambangan adalah industri besar tanpa daur. Oleh karena itu dalam mengusahakan industri pertambangan selalu berhadapan dengan sesuatu yang serba terbatas, baik lokasi, jumlah, jenis maupun mutu materialnya. sehingga dibutuhkan suatu usaha-usaha untuk memanfaatkan sumber daya mineral yang melimpah dan memiliki sifat yang terbatas secara optimal.

PT ANTAM Tbk. UBPN Sulawesi

Tenggara, merupakan salah satu perusahaan yang mengelola bijih nikel laterit menjadi produk *ferro-nickel* (FeNi), dengan menetapkan kadar batas terendah (COG) 1,80% Ni dari bijih nikel yang dapat dikelola pada pabrik pengolahan.

Untuk menjaga kesinambungan bijih nikel yang akan diolah pada pabrik pengolahan, maka PT. Antam Tbk UBPN Sulawesi Tenggara melakukan proses *blending*. *Blending* adalah proses pencampuran antara material dengan kualitas dan kuantitas yang berbeda untuk diperoleh hasil campuran yang sesuai. Dalam proses pencampuran (*blending*) harus memenuhi *ore spesifik* kebutuhan pabrik pengolahan.

Sebelum penelitian yang dilakukan ini, ada beberapa penelitian

¹musnajam@gmail.com

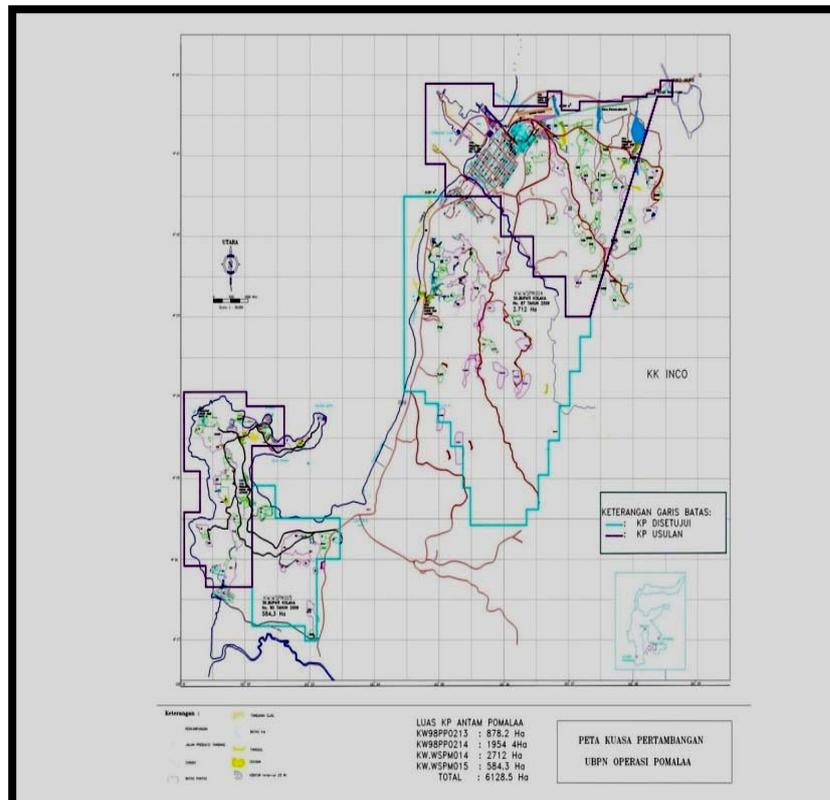
terdahulu yang telah mengkaji daerah penelitian, diantaranya adalah Musnajam (2011), Penelitian dilakukan lebih menekankan pada aspek mineralisasi dan karakteristik geokimia pada endapan nikel laterit khususnya di daerah Tambang Tengah, bukit TLA2. PT.Antam. Penelitian yang dilakukan Suwito Hadi (1992), dalam penelitiannya tentang pembentukan nikel laterit di daerah Pomalaa dan Soroako, yang menyatakan di daerah Pomalaa lateritnya termasuk tipe silikat yang merupakan perkembangan dari batuan peridotit yang terserpentinisasi lemah. Nikel dengan tipe silika ini umumnya memiliki kadar nikel yang cukup tinggi yang dapat mencapai lebih dari 1,5%. Penelitian yang dilakukan tersebut lebih kearah genesa pembentukan endapan nikel laterit daerah Pomalaa secara umum. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Putra D R.,Riko (2008), penelitian yang telah dilakukan untuk menentukan karakteristik bijih nikel untuk kebutuhan umpan pada Pabrik Feni 3

PT.Antam Pomalaa, dengan berdasarkan parameter operasi *Electric Smelting Furnace-3*. Kemudian penelitian yang dilakukan Safriatna Anas (2008), menghasilkan *Recycle Slag Desulfurisasi* untuk peningkatan kapasitas Pabrik Feni 2, PT Antam Tbk UBP Nikel Pomalaa. Penelitian ini, lebih menekankan pada pemanfaatan bijih nikel kadar rendah (< 1,8 % Ni), dengan metode *blending*.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui rangkaian kegiatan yang dilakukan perusahaan dalam penanganan bijih nikel kadar rendah, dan untuk mengetahui proses *blending* yang dilakukan.

Lokasi penelitian dilakukan pada PT ANTAM Tbk. UBP Operasi Sulawesi Tenggara, Kecamatan Pomala, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Dimana secara geografis wilayah Pomalaa berada pada posisi 3°30' - 4°30' LS dan 120° - 122° BT (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

PEMBAHASAN

Rangkaian kegiatan proses penambangan pada PT. ANTAM Tbk. UBPN Sulawesi Tenggara, meliputi proses penggalian, pemuatan, pengangkutan, penimbunan, *transito* dan *stock yard* (Gambar 2).

Proses Penggalian, pada penggalian bijih nikel dilakukan dengan menggunakan alat-alat mekanis seperti misalnya *excavator* jenis *back hoe*. Proses Pemuatan, pemuatan bijih nikel hasil penggalian dilakukan oleh *excavator* yaitu *back hoe*. Disamping itu digunakan *wheel loader* sebagai alat muat dengan berbagai kapasitas mangkok. Bijih nikel yang telah ditumpuk oleh alat gali dekat *front* penambangan dan telah diuji kadarnya. akan dimuat ke alat angkut (*dump truck*). Pengangkutan merupakan proses *Dump truck*

merupakan alat mekanis yang umum digunakan untuk pengangkutan bijih dari front penambangan sampai ke tempat penimbunan (*stock yard*). Proses Penimbunan, tempat penimbunan material dapat dibagi menjadi dua, yaitu *transito* dan *stock yard*. *Transito* adalah suatu daerah yang digunakan untuk menampung sementara bijih dari front penambangan guna *merichek* ulang kadar bijih tersebut sebelum dilakukan klasifikasi tumpukannya pada *Stock yard*. *Stock yard* digunakan untuk menyimpan material yang akan digunakan pada saat yang akan datang. Seperti bijih kadar tinggi yang akan dijadikan umpan pada pabrik pengolahan dan bijih kadar rendah yang dapat diproses pada saat yang akan datang.



Gambar 2. Foto rangkaian kegiatan penambangan pada PT ANTAM Tbk. UBPN Sul-Tra

Masalah penanganan bijih nikel kadar rendah, jika hasil analisa laboratorium menyatakan bahwa sampel *selective mining* yang diperoleh pada lokasi penambangan memiliki kadar dibawah COG, maka blok dari bijih tersebut akan ditangani dengan proses pengusuran menggunakan alat mekanis *Bulldozer* pada suatu tempat yang jaraknya tidak jauh dari *front*

penambangan, hal ini dilakukan agar tidak mengganggu beberapa kegiatan pengambilan bijih dengan kadar diatas COG. Selain itu agar tidak mudah terbawa oleh air hujan, maka tumpukan bijih yang berbentuk *loose* tersebut akan dipadatkan dengan menggunakan *Bulldozer*. Selain itu disekitar tumpukan akan dibuat sistem *drainase*, untuk mengalirkan air hujan.

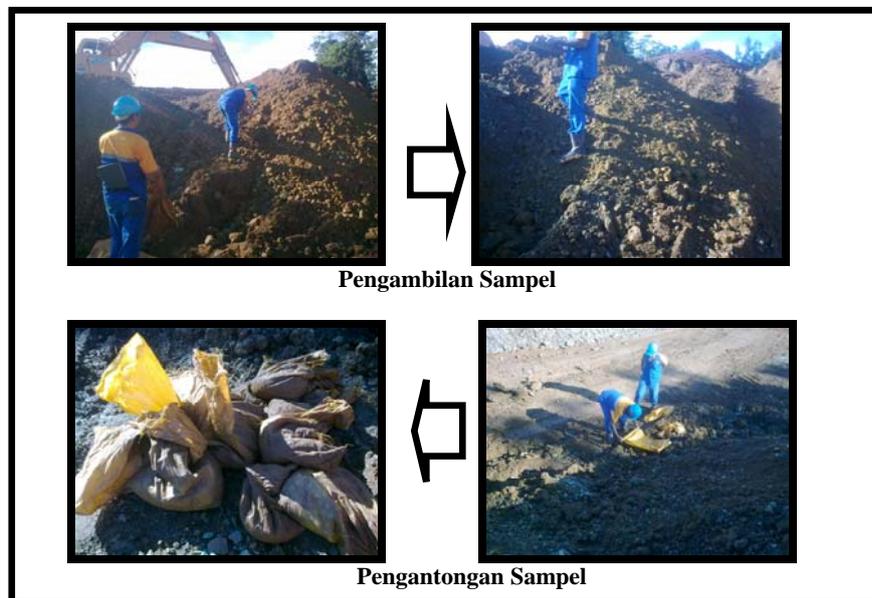
Hal ini hampir sama dengan penanganan bijih pada transitu dimana jika hasil analisa sampel *recheck* menunjukkan kadar bijih dibawah COG maka bijih akan disatukan pada tumpukan dengan kadar yang sama kemudian untuk menghindari longsor terhadap tumpukan, akan dipadatkan dengan menggunakan *bulldozer* dan disekeliling tumpukan akan dibuat sistem *drainase*, untuk mengalirkan air yang masuk pada tumpukan tersebut (Gambar 3).



Gambar 3 Foto Pemadatan Bijih Nikel Kadar Rendah pada *stock yard*

Pengawasan kualitas bijih nikel terdiri dari beberapa bagian unit, yaitu bagian persiapan sampel dan pengambilan sampel. Tugas utama bagian persiapan sampel adalah melakukan pengambilan sampel dan preparasi sampel. Pengambilan sampel dilakukan pada beberapa lokasi yaitu pengambilan sampel pada *front* penambangan disebut dengan sampel *Selective Mining* (SM) dilakukan sebelum melakukan penambangan bijih dan pengambilan sampel pada transitu disebut dengan sampel *recheck* (Rc) dilakukan pada tumpukan bijih yang berada pada *transito/stock yard* hasil dari penambangan.

Preparasi sampel adalah pekerjaan untuk mempersiapkan sampel sebelum sampel tersebut dikirim ke laboratorium untuk dianalisa kadarnya. Sampel yang akan dianalisa kadarnya, dimasukkan ke bagian preparasi sampel terlebih dahulu dengan tujuan untuk diproses baik jumlah maupun ukuran butiran dari sampel tersebut, sehingga didapatkan sampel yang homogen (Gambar 4).



Gambar 4. Foto Kegiatan Pengambilan sampel

Proses yang dilakukan pada bagian laboratorium instrument yaitu menganalisa unsur-unsur kimia yang

terkandung dalam sampel. jenis sampel yang dianalisa meliputi Ni ore, mtl *Ferronikel*, lime stone, dan batu bara.

Alat-alat yang digunakan untuk menganalisa sampel adalah : X-Ray dan Infra Red Matic (Gambar 5).



Gambar 5. Foto tahap analisa kadar unsur dengan Sinar X pada *Axios Panalytical*.

Proses-proses yang dikerjakan di bagian laboratorium kimia meliputi analisa unsur-unsur yang terkandung dalam sampel secara volumetris (analisa *wet*). Prinsip dasar analisa *wet* adalah sampel yang akan dianalisa, dilarutkan dengan pelarut tertentu, yang biasa digunakan adalah asam kuat ; asam nitrat, asam sulfat, asam perkhlorat dan asam klorida. Melarutkan sampel dimaksudkan agar reaksi antara unsur yang dianalisa dengan pereaksi dapat bereaksi lebih sempurna.

Blending adalah proses pencampuran antara material dengan kualitas dan kuantitas yang berbeda untuk diperoleh hasil campuran yang sesuai. Dalam proses pencampuran (*blending*) harus memenuhi *ore spesifik* kebutuhan pabrik pengolahan. Adapun tata cara dalam proses blending yang dilakukan adalah meliputi tahap-tahap : tumpukan bijih nikel pada tranisito akan dianalisis dengan bantuan data kualitas dan kuantitas unsur tumpukan bijih yang berasal dari *Satker Quality Control*, tumpukan bijih manakah yang layak untuk dijadikan bahan *blending*. Kemudian tumpukan bijih nikel pada tranisito yang layak akan diangkut menggunakan *dump truck* menuju *stock yard* pabrik dan ditumpuk sesuai no. tumpukannya. Tahap terakhir tumpukan bijih nikel *stock yard* pabrik, saat akan diolah pada pabrik pengolahan akan diangkut menggunakan *back hoe* atau

wheel loader menuju *shake out machine* (SOM) dengan Ratio yang sesuai dengan hasil analisis (dapat dilihat pada tabel blending diatas) misalkan tumpukkan TR 130 dengan Ratio 2 dan tumpukkan TR 89 dengan Ratio 1. ini berarti ; tumpukkan TR 130 2 kali diangkut menggunakan *back hoe* atau *wheel loader* menuju SOM sedangkan tumpukkan TR 89 angkutannya hanya 1 kali.

Pada Tabel 1 menunjukkan beberapa sampel *blending* antara beberapa tumpukan bijih dengan kandungan unsur yang spesifik, yang dilakukan di PT.ANTAM,Tbk UBPN Sulawesi Tenggara. Pada tabel tersebut menunjukkan beberapa unsur-unsur yang menjadi pertimbangan dalam proses *blending*, yang mengikuti *Ore Spesifikasi* kebutuhan pabrik pengolahan.

Terdapat ketentuan khusus dari bijih yang akan diolah pada pabrik pengolahan dimana tidak hanya mempertimbangkan nilai Ni yang dikandung bijih, sebab hal ini akan berdampak pada proses yang akan berlangsung serta produk akhir pengolahan yaitu logam Feronikel

Tabel 1 Kandungan Unsur yang menjadi Spesifikasi bijih nikel untuk kebutuhan pabrik pengolahan

Kandungan Unsur	Kadar (%)
Ni	> 1,80 %
Fe	> 14 %
BC	≥ 0,48 %
S/M	< 2,2 %
SiO ₂	≥ 3,8 %

Penambangan bijih nikel merupakan sebuah kegiatan yang banyak memerlukan biaya dimana melibatkan para pekerja serta alat-alat mekanis, oleh karena itu dibutuhkan suatu usaha dalam mengatur sebuah kegiatan penambangan untuk mencegah terjadinya kerugian dari kegiatan tersebut. Untuk memperoleh bijih nikel diatas COG yang telah ditentukan oleh perusahaan, maka terdapat beberapa material yang harus dikupas diantaranya; *Top Soil*,

overburden dan bijih kadar rendah, pengupasan material ini juga memerlukan biaya yang tidak sedikit oleh karena itu selayaknya material – material ini ditangani dengan baik sebab akan dimanfaatkan pada masa mendatang salah satunya untuk menutupi sebagian biaya yang telah dikeluarkan. Khususnya bijih kadar rendah (bijih dengan kadar dibawah COG), dapat dimanfaatkan dalam proses pengolahan apakah dengan *blending* atau juga dengan langsung dikelolah pada pabrik jika hal itu memungkinkan.

Penanganan bijih nikel kadar rendah masih kurang efektif jika hanya dilakukan dengan dipadatkan dengan menggunakan *bulldozer* untuk mengurangi kondisi *loose* tumpukan bijih tersebut, sebab ini akan sangat berdampak pada curah hujan yang tinggi dimana akan menyebabkan banyaknya material *loose* yang akan terbawa oleh air hujan sehingga akan menyebabkan kondisi sedimentasi yang tidak pada tempatnya, yang pada akhirnya menyebabkan kerusakan lingkungan sekitar, apalagi jika *stock yard* berada dekat pantai, dapat dibayangkan betapa besarnya kerusakan yang akan ditimbulkan pada ekosistem pantai. Penanganan bijih nikel kadar rendah selain dipadatkan dengan menggunakan *bulldozer* sebaiknya diberi penutup pada bagian atas tumpukan bijih apakah dengan menggunakan atap atau menggunakan terpal atau jika dianggap tumpukan tersebut masih lama dalam pemanfaatannya maka sebaiknya ditanami dengan rerumputan jalar.

Dari data tumpukan ore pada *stock yard* Pomalaa yang menunjukkan bahwa jumlah bijih nikel dengan kadar dibawah COG (kadar rendah) lebih banyak dibandingkan kadar diatas COG (kadar tinggi), oleh karena itu dibutuhkan suatu usaha untuk memanfaatkan bijih nikel dibawah COG yang telah ditentukan oleh perusahaan, hal ini dilakukan untuk mendukung penyediaan bijih yang menjadi umpam pada pabrik pengolahan yang pada akhirnya mendukung *survive* dari suatu perusahaan yang mengelola bahan

galian yang bersifat *non renewable*. Salah satu usaha yang dilakukan untuk mengelolah bijih dengan kadar Ni dibawah 1,80 % ialah dengan melakukan *blending* atau juga dengan menurunkan nilai COG bijih nikel kebutuhan pabrik pengolahan dari 1,8 %. Hal ini tentunya membutuhkan sebuah proses pengolahan bijih nikel yang tidak terlalu membebani, dimana biaya terbesar yang dikeluarkan dalam proses pengolahan bijih nikel menjadi logam feronikel adalah pada penggunaan listrik (± 35 % dari semua biaya pengolahan). Oleh karena itu, cara lain agar dapat mengelolah bijih nikel kadar rendah adalah dengan menyediakan pembangkit listrik yang mampu menopang kebutuhan power pada pabrik pengolahan, yang dapat mengelolah bijih nikel kadar rendah (kadar Ni < 1,80 %). Karena *electric tanur* (dapur listrik) yang digunakan, maka panas yang dihasilkan digunakan untuk melebur oksida-oksida menjadi slag dan memisahkannya dengan konsentrat (metal).

Metode metalurgi yang digunakan untuk mendapatkan logam Feronikel adalah Proses *Pyrometallurgy* dimana temperatur yang digunakan lebih tinggi, diandaikan persentase perolehan Ni 95 % dengan kadar Ni dalam bijih 1,80 % dan patokan kebutuhan tenaga listrik 530 Kwh/ton bijih kering, maka jumlah tenaga listrik yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= \frac{1000}{0,95 \times 0,018} \times 530 \text{ Kwh/ton} \\ &= 30.994.166 \text{ Kwh/t Ni} \end{aligned}$$

Nilai ini akan lebih tinggi jika COG yang ditetapkan lebih rendah dari 1,80 %. Dimanana kandungan Ni pada *Crude metal* tergantung dari perbandingan Fe/Ni dari bijih yang masuk pada pabrik pengolahan.

Pada PT. Aneka Tambang, Tbk Sulawesi Tenggara, proses kegiatan penambangan bijih nikel dilakukan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan pabrik pengolahan dalam menghasilkan *Crude Ferronikel*. Bijih nikel yang masuk pada pabrik pengolahan tidak hanya dilihat

dari kandungan unsur Ni nya tetapi terdapat beberapa unsur – unsur yang menjadi pertimbangan, sebab secara genesa bijih nikel oksida (laterit) di alam terbentuk melalui proses pelapukan batuan ultramafik jenis peridotit, dimana batuan ini disusun oleh mineral-mineral utama seperti Olivin ((Mg,Fe)₂SiO₄) dan Piroksin ((Ca,Na,Mg, Fe⁻²) (Mg,Fe⁺³, Al) SiO₂). (Waheed Ahmad,2001). Oleh karena itu bijih yang masuk pada pabrik pengolahan haruslah sesuai dengan Ore Spesifik yang telah ditentukan bagi pabrik pengolahan, sebab unsur-unsur pada bijih sangat berpengaruh pada Furnance (tanur peleburan).

Untuk mencari keseimbangan unsur-unsur yang dikandung dari tumpukan bijih, yang akan dijadikan umpan pabrik pengolahan maka, dilakukan *blending* yaitu pencampuran antara material yang sama dengan kualitas (kadar unsur-unsur pada bijih) dan kuantitas (jumlah/tonase tumpukan bijih) yang berbeda. Dengan kata lain proses blending dilakukan sesuai kebutuhan bijih pada pabrik pengolahan.

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan *blending* pada bijih nikel yaitu : Kandungan *Bacisity* / Tingkat Kebasaan dan S/M, Nilai Fe/Ni, nomor blending, tonase, ratio, dan kadar unsur

Nilai Kandungan *Bacisity* / Tingkat Kebasaan diperoleh dari perbandingan antara unsur-unsur oksida yang bersifat basa (Mgo, FeO, CaO, MnO, NiO) dan oksida-oksida yang bersifat asam (SiO₂). Dalam pelaksanaan peleburan NiO dan MnO jumlahnya sangat sedikit dalam slag, kadar FeO dalam slag dapat dianggap constant karena adanya pembatasan kadar Fe dalam bijih untuk menjaga kadar Feronikel.

Tanur listrik yang digunakan pada peleburan Feronikel dilapisi (*lining*) dengan batu tahan api jenis magnesia (MgO *brick*). Jika tingkat kebasaaan dalam slag jauh menyimpang dari keseimbangan komponen – komponen diatas misalnya menurun (tingginya kandungan SiO₂), maka akan terjadi pengrusakan (pengikisan) terhadap lapisan batu tahan api, hal ini disebabkan SiO₂ bereaksi denagn

magnesia *brick* (Gambar 6). Dalam kondisi seperti ini akan dilakukan penambahan CaO yang bersifat basa, biasanya digunakan *lime stone*. Jika tidak maka umur dari dinding tidak akan bertahan lama (harus diganti), dan ini membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit.



Gambar 6. Foto Batu tahan api jenis magnesia (MgO *brick*) yang digunakan *lining* pada Tanur listrik

Sebaliknya bila jumlah SiO₂ terlalu sedikit ada kemungkinan terbentuk 2MgO.SiO₂. Sehingga titik lebur akan semakin tinggi (1890 °C), yang menyebabkan slag akan menjadi susah cair, sehingga akan terbentuknya klinker (melekatnya slag pada dinding dapur), ini menyebabkan unsur untuk mencairkan slag akan menjadi lebih tinggi, fluiditas semakin jelek dan akan mempersulit operasi peleburan.

Oleh karena itu, nilai 0,6 – 0,7 dari tingkat kebasaaan dianggap ideal bagi proses peleburan feronikel yang menggunakan tanur listrik dengan *lining* batu tahan api jenis magnesia. Formula yang digunakan untuk menghitung nilai *bacisity* bijih yang akan masuk pada pabrik pengolahan adalah sebagai berikut :

$$BC = \frac{\% \text{MgO} + \% \text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$

Nilai Fe/Ni diperoleh dari hasil perbandingan antara kandungan unsur Fe dan Ni yang terdapat pada tumpukan bijih, nilai COG 1,8 % dari kandungan unsur Ni pada bijih dianggap sebagai nilai terendah dalam menetapkan kadar unsur Ni pada bijih yang akan masuk

pada pabrik pengolahan, sebab suatu perusahaan dalam mengusahakan bahan galian logam, penentuan COG tergantung dari seberapa besar biaya yang dikeluarkan dalam proses penambangan dan pengolahan bahan galian tersebut serta nilai jual dari logam yang dihasilkan.

Dari hasil Simulasi *blending* yang dilakukan, berdasarkan data bijih nikel kadar dibawah COG (kadar rendah), dengan bantuan sistem komputasi excel dan dengan merujuk pada data kadar yang berasal dari satker *Quality Control*, menghasilkan nilai kadar tertentu pada kandungan unsur-unsur bijih hasil *blending*. Adapun hal-hal yang berpengaruh dan harus diperhatikan pada proses *blending* (Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3) adalah Nomor Blending, Tonase dan ratio.

Nomor Blending akan menunjukkan jenis tumpukan bijih pada *stock yard/transito* tertentu, misalnya pada simulasi Tabel 2 Blending I menunjukkan kode MNG.1 ini berarti bahwa tumpukkan bijih tersebut merupakan bijih yang berasal dari tambang maniang yang tumpukannya terletak pada *stock yard/transito* pelabuhan.

Tonase, menunjukkan jumlah tonase dari tumpukan bijih yang akan dijadikan sebagai bahan *blending*. Ini juga harus diperhatikan sebab akan berdampak pada rasio dalam melakukan *blending*, dimana tumpukan bijih yang memiliki jumlah tonase yang lebih besar tentunya memiliki rasio *blending* lebih besar pula.

Ratio, menunjukkan tingkat perbandingan pemuatan bijih ke SOM, misalnya tumpukkan TR 130 dengan Ratio 2 dan tumpukkan TR 89 dengan Ratio 1. Ini berarti ; tumpukkan TR 130

2 kali dimuat menggunakan *back hoe* atau *wheel loader* menuju SOM sedangkan tumpukkan TR 89 dimuat hanya 1 kali. Dalam hal ini operator *excavator* harus memperhatikan betul rasio pada saat melakukan pemuatan bijih ke SOM, sebab rasio ini sangat menentukan variasi kadar dari unsur-unsur yang dikandung bijih hasil *blending*.

Kadar Unsur, sangat berpengaruh pada kandungan bijih adalah nilai Ni,Fe yang akan berdampak pada perbandingan Fe dan Ni (Fe/ Ni) yang dikandung bijih hasil *blending*. Kandungan Ni,Fe akan berpengaruh pada kualitas logam *ferronikel* yang dihasilkan pada pabrik pengolahan. Selain itu kandungan zat asam (SiO₂) dan zat basa (MgO, CaO) dalam bijih sangat berpengaruh terhadap tingkat *basicity* bijih yang masuk pada pabrik pengolahan, oleh karena itu nilai *basicity* bijih harus tetap terjaga kestabilannya dan terkadang dalam proses *blending* nilai *basicity* bijih tergantung dari kondisi dinding tanur pada saat itu. Sebab proses *blending* dilakukan sesuai kebutuhan pabrik pengolahan. Sehingga untuk mengetahui kadar rata-rata *blending* dapat dibuat rumus :

$$K = \frac{(\text{Ratio B1} \times \text{Kadar unsur B1}) + (\text{Ratio B2} \times \text{Kadar unsur B2}) + \dots}{\text{Jumlah Ratio}}$$

Misalnya untuk mencari kadar rata-rata untuk unsur Ni pada simulasi *blending* :

$$\begin{aligned} K &= ((\text{Ratio TR 130} \times \text{Kadar Ni}) + (\text{Ratio TRS. CF} \times \text{Kadar Ni}) + (\text{Ratio TR 3} \times \text{Kadar Ni})) / \text{Jumlah Ratio} \\ &= ((1 \times 2,11\% \text{ Ni}) + (2 \times 1,74\% \text{ Ni}) + (1 \times 1,78\% \text{ Ni})) / 4 \\ &= 1,84\% \text{ Ni} \end{aligned}$$

Tabel 2 Simulasi Blending I

NO	NO BLENDING	TON	Ratio	Ni	Fe/Ni	BC	SiO ₂	MgO	S/M	CaO
1	MNG.1	22,14	2	1.76	10.1	0.9	33.9	31.0	1.0	0.84
2	DC 51	9,439	1	2.2	5.03	0.6	42.8	25.0	1.7	1.1
KADAR RATA – RATA		31,582	3	1.91	8.13	0.81	36.89	29.04	1.27	0.93

Tabel 3 Simulasi Blending II

NO	NO BLENDING	TON	Ratio	Ni	Fe/Ni	BC	SiO ₂	MgO	S/M	CaO
1	TR 130	7,830	1	2.11	5.67	0.62	46.42	20.99	2.21	1.32
2	TRS. CF3	14,847	2	1.74	5.67	0.49	50.05	23.87	2.10	0.96
3	TR 3	10,689	1	1.78	7.80	0.43	44.50	18.38	2.42	1.34
KADAR RATA – RATA		33,366	4	1.84	6.18	0.47	47.76	21.78	2.19	1.15

Tabel 4 Simulasi Blending III

NO	NO BLENDING	TON	Ratio	Ni	Fe/Ni	BC	SiO ₂	MgO	S/M	CaO
1	TR 130	15,239	2	1.46	19.68	0.61	23.43	14.00	1.67	0.54
2	TR 89	7,224	1	2.10	7.52	0.46	39.47	17.12	2.31	1.21
3	TRB 5	10,206	1	2.17	7.93	0.44	38.26	16.11	2.37	1.08
KADAR RATA – RATA		32,669	4	1.80	12.58	0.51	31.15	15.31	2.03	0.84

Keterangan :

No Blending : Kode tumpukan bijih pada *stock yard* yang dijadikan bahan *blending*.

Ton : Jumlah tonase tumpukan

Ratio : Tingkat perbandingan blending setiap tumpukan bijih yang pada saat melakukan *blending*.

Ni,SiO₂,MgO :% Kandungan unsur Ni, SiO₂,MgO pada tumpukan bijih

Fe/Ni : Nilai % yang diperoleh dari perbandingan Kandungan unsur Ni dan Fe pada tumpukan bijih.

BC : Nilai *bacisity* atau tingkat kebasaan yang dikandung tumpukan bijih

S/M : Tingkat asam – basa pada tumpukan bijih yang dihasilkan dari perbandingan kandungan SiO₂ dan MgO

KESIMPULAN

Hasil data kadar yang diperoleh di lapangan, menunjukkan bahwa jumlah tonnage bijih nikel dengan kadar Ni < 1,80% lebih banyak dibandingkan dengan jumlah bijih nikel dengan kadar Ni > 1,80%. Untuk memanfaatkan bijih nikel kadar Ni < 1,80%, maka dilakukan blending dengan kadar Ni > 1,80%. Proses blending yang dilakukan mengikuti persyaratan dari ore spesifik

yang akan masuk pada pabrik pengolahan. Pada ore spesifik, terdapat beberapa unsur yang menjadi pertimbangan dari bijih yang akan masuk pada pabrik pengolahan, yaitu : *bacisity*, Ni, Fe, SiO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- PT Antam, Tbk. UBPN Sul-Tra, 1988, Laporan Hasil Orientasi Di Lingkungan Produksi dan Pengawasan Produksi pada PT. Antam Tbk UBPN Sulawesi Tenggara, Pomalaa.
- PT Antam, Tbk. UBPN Sul-Tra, Peleburan Ferro-Nickel Menurut Metoda PAMCO-ELKEM, Pomalaa.
- Musnajam, 2011 (a)., Karakteristik Mineralogi Endapan Nikel Laterit Daerah Tambang Tengah (bukit TLA2) PT. Antam Tbk. UBPN Nikel Pomalaa Sultra, Publikasi jurnal Teknologi Technosciantia, Yogyakarta
- Musnajam, 2011 (b)., Analisa perbandingan tonase SSP dengan Tonase Reject Stasiun Penyaringan di PT.Inco Tbk. Sulsel, publikasi jurnal ilmiah Aktualita kopertis wil.IX Sulawesi, Makassar

- Putra D R.,Riko, 2008., Penentuan karakteristik bijih nikel untuk umpan pabrik feni 3 berdasarkan parameter operasi electric smelting furnace-3, PT Antam Tbk UBP Nikel Pomalaa, publikasi makalah TPT XVII PERHAPI, Palembang.
- Safriatna Anas, 2008., Peningkatan Kapasitas Pabrik Feni 2 Recycle Slag Desulfurisasi, PT Antam Tbk UBP Nikel Pomalaa, publikasi makalah TPT XVII PERHAPI, Palembang
- Simon And Schuster's, 1977, Guide To Rock And Mineral, The American Museum Of Natural, New York.
- Soewito Hadi, 1992, Ilmu Pengetahuan Logam, Divisi Pengembangan Bahan Belajar PPPG Teknologi Bandung, Bandung.

KAJI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN EKSTERNAL PADA BENDA TUMPUL SEGIEMPAT DENGAN UJUNG MUKA ELLIPS

Rachmat Subagyo¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru

Masuk: 5 Januari 2012, revisi masuk: 21 Januari 2012, diterima: 5 Februari 2012

ABSTRACT

Aerodynamic equilibrium at the vehicle can not be separated from the presence of flow separation and drag force that occurs, and is a great loss that can affect the use of waste fuels. Many ways to minimize the drag force that arises when a body drained of fluid flow, one of which is to control the boundary layer on the surface of the object or to modify the shape of the object. In this research using wind tunnel aerofoil as a tool to test while the test object is made using teak wood in the form of ellipse as much as 5 pieces. The surface of the test object is made smooth and varnished. The results are: The smaller the drag coefficient with the increasing Reynolds number and variety of the major axis (a) on the test object, and conversely the smaller the value of the Reynolds number and variety of the major axis is smaller drag coefficient. With different Reynolds numbers show almost the same pressure distribution of the five test specimens except the specimen 75 mm major axis variation of this happens because the influence of the capillary tube. The greater the radius of curvature or the greater variation the separation nough major axis can be delayed can be seen in the figure based separasi point (b / a) for the fifth test object that the separation point can be delayed due to the fluid flowing in the test specimen experienced less resistance because of its shape more taper than another test.

Key words: Aerodinamic, Drag, boundary layer control, wind tunnel, ellip, the major axis

INTISARI

Kesetimbangan aerodinamika pada kendaraan tidak terlepas dari adanya separasi aliran dan gaya drag yang terjadi, dan merupakan kerugian besar yang dapat berpengaruh pada pemborosan pemakaian bahan bakar. Banyak cara untuk memperkecil gaya drag yang timbul apabila suatu benda dialiri aliran fluida, salah satunya adalah melakukan kontrol lapisan batas pada permukaan benda atau dengan memodifikasi bentuk bendanya. Pada penelitian ini menggunakan wind tunnel sebagai alat untuk menguji aerofoil sedangkan benda uji dibuat menggunakan kayu jati yang di bentuk ellips sebanyak 5 buah. Permukaan benda uji dibuat halus dan dipernis. Hasil penelitian adalah: Koefisien drag semakin kecil dengan semakin bertambahnya bilangan Reynolds dan variasi sumbu mayor (a) pada benda uji, dan sebaliknya semakin kecil nilai bilangan Reynolds dan variasi sumbu mayor maka koefisien drag semakin kecil. Dengan bilangan Reynolds yang berbeda memperlihatkan distribusi tekanan hampir sama dari kelima benda uji kecuali benda uji variasi sumbu mayor 75 mm hal ini terjadi karena pengaruh pipa kapiler. Semakin besar jari-jari kelengkungan atau semakin besar variasi sumbu mayor maka titik separasi dapat ditunda ini dapat dilihat pada gambar titik separasi berdasarkan (b/a) untuk kelima benda uji bahwa titik separasi dapat ditunda karena fluida mengalir pada benda uji hambatan yang dialami kurang karena bentuknya lebih lancip dibandingkan benda uji yang lain.

Kata kunci : Aerodinamika, Drag, Kontrol lapisan batas, wind tunnel, ellip, sumbu mayor

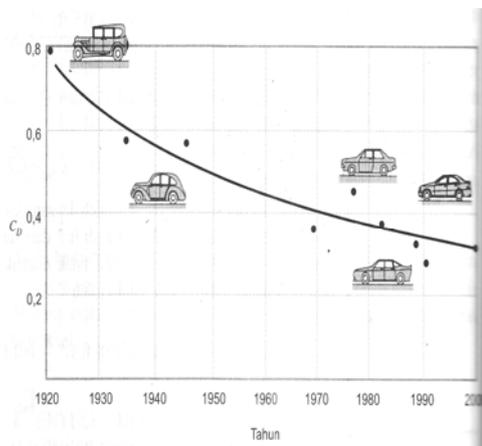
PENDAHULUAN

Kesetimbangan aerodinamika pada kendaraan tidak terlepas dari adanya separasi aliran dan gaya drag

yang terjadi, dan merupakan kerugian besar yang dapat berpengaruh pada pemborosan pemakaian bahan bakar. Fluida yang mengalir disekitar benda

¹r_sub4gyo_mt@yahoo.co.id

padat membentuk suatu medan aliran yang dikarakterisasi oleh suatu distribusi tekanan dan kecepatan yang berkaitan erat dengan timbulnya fenomena seperti separasi aliran, gaya drag dan gesekan kulit. Pengurangan drag tambahan telah dilakukan dengan suatu pengurangan luas proyeksi. Hasil nettonya adalah peningkatan yang besar dari efisiensi bahan bakar, terutama sewaktu kendaraan berjalan dengan kecepatan tinggi.



Gambar 1. Mengurangi drag dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar (Betz, A., 1966)

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. koefisien drag untuk mobil telah semakin berkurang secara terus menerus dari tahun ke tahun. Pengurangan ini merupakan hasil dari perancangan yang sungguh-sungguh pada bentuk dan perincian (seperti cetakan jendela, kaca spion, dan lain-lain).

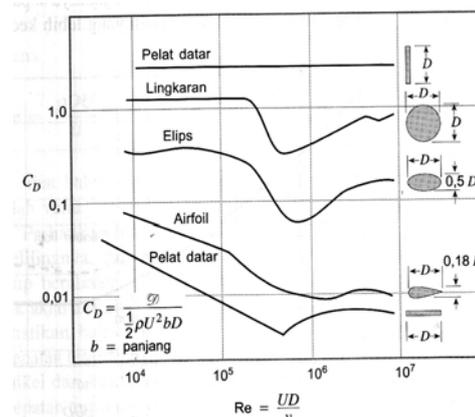
Banyak cara untuk memperkecil gaya drag yang timbul apabila suatu benda dialiri aliran fluida, salah satunya adalah usaha untuk membuat benda lebih ramping (*Streamlining*). Streamlining ini dapat memberikan pengurangan drag yang cukup banyak pada aliran dengan bilangan Reynolds besar, pada aliran dengan bilangan Reynolds sangat kecil, hal ini dapat meningkatkan drag karena suatu peningkatan dalam luasan dimana gaya geser bekerja. Untuk kebanyakan benda, hasil-hasil untuk aliran dengan bilangan Reynolds kecil berlaku sampai dengan bilangan Reynolds sekitar 1.

Tabel 1. Kofisien drag untuk bilangan Reynolds kecil

Objek	$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A/2}$ (untuk $Re \leq 1$)	Objek	C_D
a. Piringan bundar tegak lurus	$20,4/Re$	a. Bola	$24,0/Re$
b. Piringan bundar sejajar aliran	$13,6/Re$	b. Setengah bola	$22,2/Re$

Sumber: Cumpsty, N. A., 1989

Untuk benda yang sangat tumpul, seperti sebuah pelat datar yang tegak lurus aliran, separasi aliran terjadi pada tepian dari pelat bagaimanapun sifat aliran lapisan batasnya. Jadi, koefisien drag menunjukkan ketergantungan yang lemah pada bilangan Reynolds. Koefisien drag untuk serangkaian benda dua dimensi dengan ketumpulan yang bervariasi diberikan sebagai fungsi bilangan Reynolds dalam Gambar 2. karakteristik yang digambarkan di atas adalah buktinya.



Gambar 2. Karakteristik dari koefisien drag sebagai fungsi bilangan Reynolds (sumber: Betz, A., 1966)

Menurut White (1991), bahwa untuk suatu benda yang dilalui oleh suatu aliran fluida dan mengalami suatu keadaan dimana akan terjadi separasi (pemisahan aliran) dan gaya tahanan. Untuk benda berbentuk persegi panjang yang berpenampang lurus akan meng-

hasilkan koefisien tahanan (C_d) sebesar 2,0. Karena itu teori aliran viskos akan memberikan hasil yang lebih baik untuk aliran luar. Sedangkan untuk aliran dalam lapisan batas akan melebar dan suatu saat pada daerah tertentu atau titik tertentu akan mengalami separasi atau pemisahan aliran sehingga efek viskos akan berkurang atau tidak ada. Aliran yang terpisah akan membelokkan dan mengubah garis-garis aliran viskos.

Dalam bidang permesinan, khususnya pada alat-alat pengarah aliran suatu aliran fluida, maka bentuk alat yang digunakan diupayakan agar sedapat mungkin akan mengurangi terjadinya turbulensi aliran. Karena adanya turbulensi yang besar akan mempengaruhi kenaikan gaya tahanan. Dalam penggunaan lain, pengarah aliran yang baik akan mengurangi kemungkinan terjadinya kavitasi yang sering menimbulkan korosi dan erosi pada peralatan permesinan yang terbuat dari baja. Untuk menjawab permasalahan diatas, maka akan dilakukan suatu penelitian dengan judul “ *Kaji Eksperimental Karakteristik Aliran Eksternal Pada Benda Tumpul Segiempat Dengan Ujung Muka Ellips*” Solusi dari permasalahan ini sedapat mungkin dapat mereduksi kerumitan-kerumitan, khususnya dalam mengestimasi hubungan antara letak titik separasi dan besarnya koefisien tahanan yang terjadi pada suatu segiempat yang ujung mukanya berbentuk ellips. Untuk mereduksi kerumitan, maka dilakukan penelitian dengan metode eksperimental.

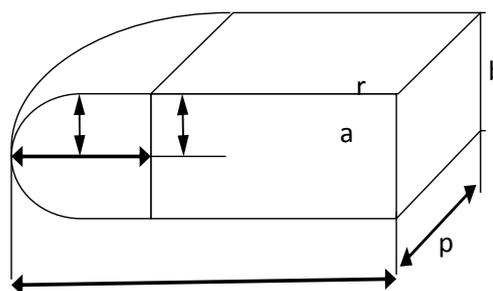
METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, dengan menggunakan sebuah alat uji *Sub-Sonic Wind Tunnel*, buatan *pint & partners LTD Engineers England*.

Benda uji dibuat dari kayu jati dengan ukuran panjang 200 mm, dan tumpuannya disesuaikan dengan benda uji. Benda uji dibuat sebanyak 5 buah (lima) dengan variasi sumbu mayornya. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

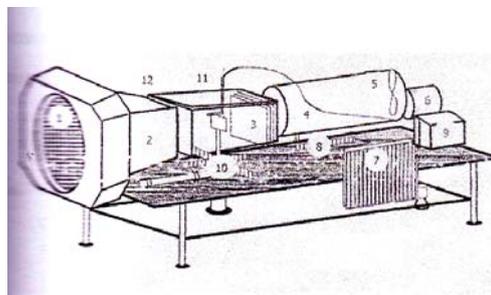
Tabel 2. Ukuran Benda Uji (satuan mm)

N o	Ben da Uji	Sum-bu mayor	Sum-bu minor	Le-bar	Ting-gi	Pan-jang
1.	I	20	25	200	50	200
2.	II	25	25	200	50	200
3.	III	50	25	200	50	200
4.	IV	75	25	200	50	200
5.	V	100	25	200	50	200



Gambar 3. benda kerja

Dimana : a = sumbu mayor (mm); b = sumbu minor (mm); p = panjang (mm); l = lebar (mm); t = tinggi (mm).



Gambar 4. Instalasi penelitian

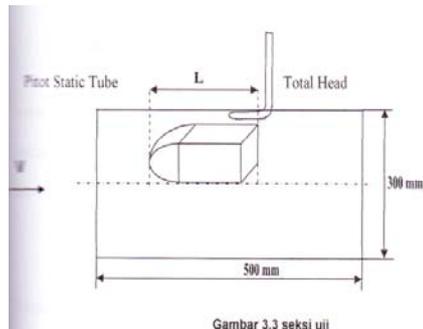
Keterangan gambar:

1. Prototipe Screen
2. Manometer Tekanan
3. Diffuser
4. Manometer Kecepatan
5. Seksi uji
6. Motor Listrik
7. Sesi divergen
8. Pengukur Gaya Tekanan
9. Fan
10. Tabung Pitot
11. Regulator Tegangan
12. Static Tapping

Untuk memenuhi kebutuhan kecepatan udara digunakan sebuah fan dengan 5 blade (sudu) yang digerakkan oleh motor listrik buatan Normand Electrical Co Ltd (NECO) London & Parst-mouth dengan spesifikasi:

- Seri : A 126268 D
- Voltase : 210 A 200 F
- Frame : 7 B
- Arus : DC
- Daya motor : 2,0 HP
- Arus : 0,7 A
- Putaran : 2800 Rpm
- Type : Shunt

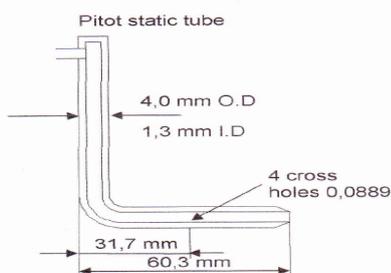
Ukuran seksi uji disesuaikan dengan ukuran seksi uji yang ada pada Wind Tunnel yang ada di laboratorium mekanika fluida yaitu panjang 500 mm, lebar 310 mm dan tinggi 310 mm (500 x 310 x 310) mm yang terbuat dari bahan kaca yang transparan sehingga posisi benda uji dapat dilihat dengan jelas. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3.3 seksi uji

Gambar 5. Seksi uji.

Untuk mengukur kecepatan luar dan kecepatan lokal di atas benda uji pada penelitian ini digunakan sebuah tabung pitot jenis total Head Tube dengan ukuran seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 6. Tabung Pitot

Bila kecepatan U yang dikembangkan oleh gas dengan massa jenis ρ akan berekspansi secara bebas mulai dari keadaan diam di bawah pengaruh perbedaan tekanan Pa, dan bila Pa cukup kecil maka efek yang kompresibilitas dapat diabaikan jika (untuk $Ma \leq 0,3$), maka diperoleh ,

$$P_a = \frac{\rho U^2}{2} \quad (\text{N/m}^2) \dots \dots \dots (12)$$

Perbedaan tekanan h di ukur dalam cm air dan karena 1 cm H₂O = 98,1 N/m² persamaan 12) menjadi:

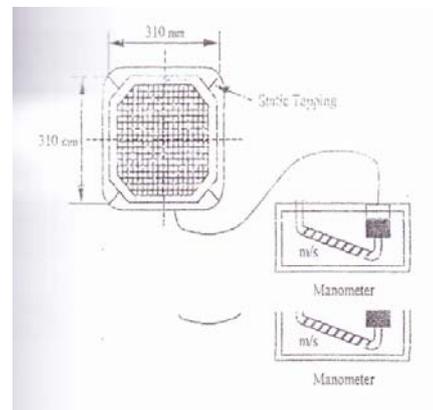
$$\frac{\rho U^2}{2} = 98,1 h \quad \dots \dots \dots (13)$$

Massa jenis udara luar dibawah tekanan Pa dan pada temperatur Ta dapat diberikan persamaan gas,

$$\frac{P_a}{\rho} = R \cdot T_a \quad \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :

R = Konstantan gas = 287 J/kg.K



Gambar 7. Alat ukur kecepatan Luar

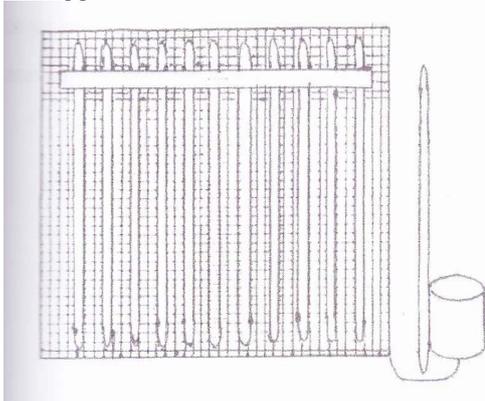
Dengan memasukkan persamaan (12) kepersamaan (13) dengan mengeliminasi ρ , diperoleh:

$$U = 237,3 \sqrt{\frac{h \cdot T_a}{P_a}} \quad (\text{m/s}) \quad \dots \dots \dots (15)$$

Sedangkan untuk pembanding kecepatan luar seleksi uji, digunakan sebuah alat buatan Airflow Development Ltd High Wycombe England, yang dapat

mengukur kecepatan aliran udara dalam jangkauan 0 s/d 26 m/s. Kecepatan luar (U) adalah merupakan kecepatan rata-rata yang diperoleh dari pengukuran distribusi kecepatan aliran udara di depan benda uji.

Untuk mengukur tekanan atau head stagnasi dan head statis tiap titik pengukuran akan dipasang tap tekanan statis (*static pressure tap*) mulai dari ujung muka sampai belakang benda uji yang terbuat dari pipa tembaga dengan diameter 1 mm dan dihubungkan dengan manometer biasa (terbuka) yang dibuat oleh Philips Harris International Ltd Shentones England, International Service to Science Education. Manometer ini terdiri atas 20 buah tabung gelas dengan ketinggian 360mm.



Gambar 8. Manometer Biasa (Terbuka)

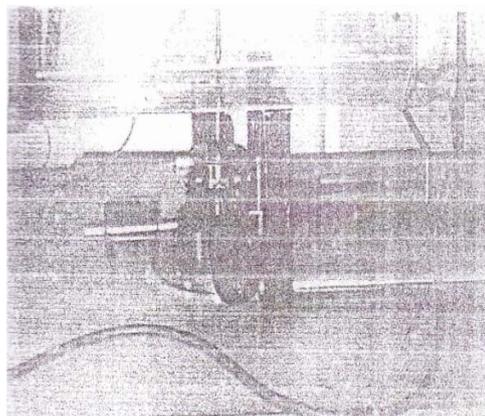
Alat Ukur Tahanan dibuat oleh plint & Partners LTD Engineers England dan merupakan komponen standar dari Sub-Sonic Wind Tunnel yang digunakan. Prinsip kerja alat ini adalah menggunakan prinsip keseimbangan gaya, sehingga benda uji yang ditumpu dengan satu tiang penyangga betul-betul dapat diatur pada posisi horisontal (nol derajat).

Keseimbangan sisi kiri dan kanan benda uji, diseimbangkan oleh pemberat dengan jangkauan 0 sampai 2,5 Newton, sedangkan untuk menyeimbangkan sisi muka dan belakang benda uji diseimbangkan oleh pemberat dengan jangkauan 0 sampai 16 Newton. Koefisien tahanan (C_D) adalah merupakan koefisien tahanan total, karena koefisien ini merupakan penjumlahan antara koefisien tahanan karena gesekan (C_{DF}) atau

biasa disebut koefisien gesekan kulit, dengan koefisien tahanan karena tekanan (C_{DP}) atau biasa disebut koefisien tahanan karena pemisahan aliran.

Kontrol listrik ini berupa regulator tegangan, yang digunakan untuk mengatur daya motor listrik, berarti alat ini juga mengatur putaran motor atau putaran impeller fan yang dengan sendirinya mengatur kecepatan aliran yang masuk ke dalam Wind Tunnel.

Alat ini dibuat oleh Neco Electric (*Europe*) Limited Regavolt Transformer England, bekerja sama dengan Claude Lyons Controls Ltd. Jangkauan pengukurannya 0 sampai 110 volt. Dimana tegangan ini berupa % tegangan yang masuk.



Gambar 9. Alat Ukur Gaya Tahanan

Selain sebuah instalasi serta peralatan yang terpasang di dalamnya, seperti terlihat pada gambar 3.2, juga diperlukan alat-alat ukur tambahan lainnya yaitu: Blower sentrifugal berfungsi untuk mengisap udara yang digerakkan sebuah motor DC dengan putaran 2800rpm.

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur udara guna besarnya kerapatan dan viskositas udara. Dalam hal ini temperatur udara dianggap konstan pada temperatur $T = 28^\circ\text{C} = 301\text{K}$, karena dianggap bahwa aliran udara dalam keadaan steady dimana parameter-parameter seperti tekanan P , densitas ρ dan temperatur konstan (tak bergantung pada waktu).

Barometer, dipakai untuk mengukur besarnya tekanan udara dalam

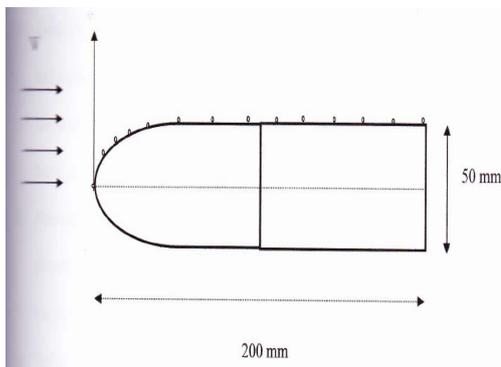
ruangan. Batas ukur dari alat ini yakni 710 sampai 810 mmhg.

Tabung pitot, digunakan untuk mengukur tekanan dinamis (fluida mengalir). Tabung pitot ditempatkan menghadap ke hulu dalam suatu aliran zat cair terbuka, zat cair akan naik dalam tabung setinggi h . Persamaan Bernouli yang ditulis dalam sebuah titik di sebelah hulu ujung tabung yang terendam sampai ke ujung tabung itu sendiri adalah

$$\frac{\rho v^2}{2} + p_1 = p_2 \dots\dots\dots (16)$$

Manometer, adalah alat yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan. Pada perangkat pengujian terdapat 13 lubang dengan diameter 2mm pada bagian atas permukaan benda uji untuk mengukur distribusi tekanan statik. Lubang tersebut dihubungkan dengan selang ke manometer. Pada lubang ini dapat dibaca perbedaan tekanan yang terjadi, dimana terlihat perbedaan tinggi kolom fluida pada tabung manometer.

Bandul yang dipasang pada terowongan angin guna membaca besarnya gaya drag yang terjadi pada benda uji tersebut, tetapi sebelumnya benda uji dipasang pada bandul harus benar-benar balance kemudian dialiri udara dengan kecepatan yang ditentukan sebelumnya dan setelah dilalui udara maka benda uji tersebut diset kembali dalam posisi balance untuk membaca besarnya gaya drag.



Gambar 10. Benda Uji Tampak Samping

Posisi pengukuran benda uji, disepanjang permukaan benda uji (arah horizontal) distribusi tekanan di ukur 14 titik

dengan jarak tertentu, sehingga jumlah titik pengukuran untuk satu tingkat kecepatan luar adalah 14 titik, atau titik pengukuran adalah :

$$14 \frac{\text{titik pengukuran}}{\text{tingkat kecepatan}} \times 5 \frac{\text{tingkat kecepatan}}{\text{benda uji}} \times 5$$

Benda uji = 350 titik pengukuran, pengukuran gaya tahanan untuk setiap benda uji adalah 5 titik, karena setiap benda uji diberi perlakuan 5 tingkat kecepatan, maka titik pengukuran adalah:

$$5 \frac{\text{titik pengukuran}}{\text{benda uji}} \times 5 \text{ benda uji} = 25 \text{ titik pengukuran.}$$

Jadi jumlah total titik pengukuran = 350 + 25 = 375 titik pengukuran.

PEMBAHASAN

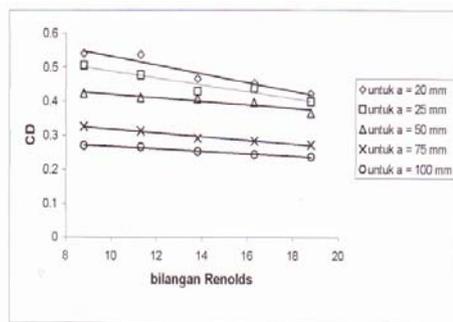
Prosedur dari pengambilan data, dilakukan dengan lima bentuk benda-benda uji segiempat dengan bagian depan berbentuk kurva berdasarkan variasi sumbu mayor (a) dengan lima variasi kecepatan yaitu 7, 9, 11, 13, dan 15 m/s. Langkah-langkah pengambilan data adalah: Sebelum diadakan pengujian dilakukan kalibrasi alat ukur agar pendataan diperoleh harga yang valid.

Mencatat SG pada manometer fluida. Catat suhu dan tekanan udara dalam ruangan. Setting benda uji sehingga dalam keadaan horisontal yang dilakukan dengan sistem pengaturan internal balance. Setelah peletakan benda uji dalam keadaan balance, maka dari terowongan angin dialiri aliran fluida berdasarkan kecepatan yang ditentukan.

Setelah dialiri udara maka benda uji disetting kembali dalam keadaan balance. Setelah itu besar gaya hambat akibat benda uji tersebut dapat dibaca pada bandul. Kemudian tekanan statik pada masing-masing titik permukaan benda uji dapat dibaca pada manometer berdasarkan perbedaan tekana, kemudian kecepatan diganti sesuai yang diinginkan.

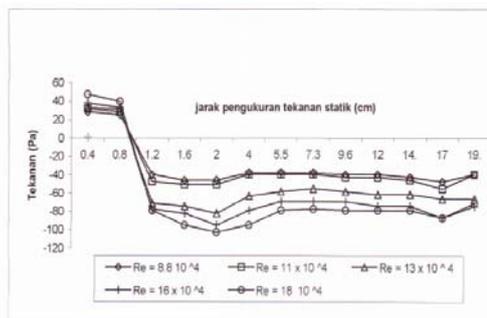
Keluarkan benda uji pertama dari seksi uji, kemudian pasang benda uji berikutnya. Ulangi langkah 2 sampai 6, begitu seterusnya hingga benda uji kelima.

Untuk memperoleh grafik hasil penelitian maka harus kita hitung koefisien drag dan tekanan pada masing-masing titik dengan menggunakan data gaya drag dan distribusi tekanan statik (dilampirkan), kemudian kita tabelkan hasil perhitungan pada lampiran. Sebagai contoh perhitungan diambil data gaya drag dan tekanan statik untuk variasi sumbu mayor (a) = 20 mm dengan kecepatan 9 m/s pada titik $x = 4$ mm sebagai berikut: Pengaruh bilangan Reynolds (Re) terhadap distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji.

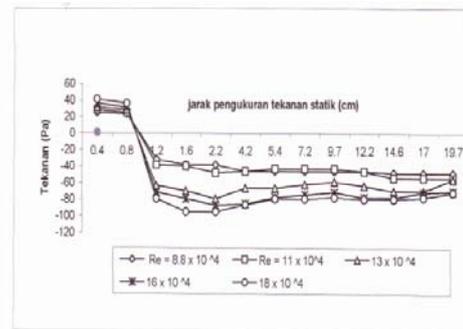


Gambar 11. Pengaruh Bilangan Reynolds (Re) terhadap Koefisien Drag (CD) dengan berbagai variasi sumbu mayor.

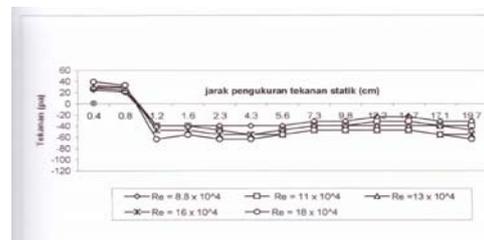
Pengaruh bilangan Reynolds (Re) terhadap distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji. Pengaruh variasi sumbu mayor (a) terhadap titik separasi (r_{sep}) pada benda uji dengan bagian depan ellips.



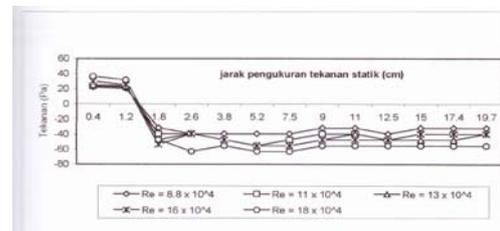
Gambar 11a. Distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji untuk berbagai nilai Reynolds (Re) dengan variasi sumbu mayor (a)= 20 mm.



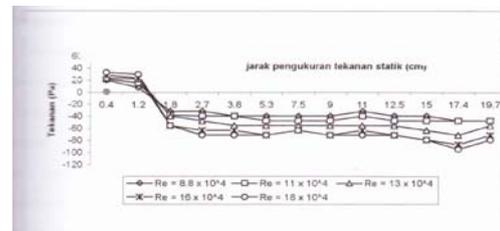
Gambar 11b. Distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji untuk berbagai nilai Reynolds (Re) dengan variasi sumbu mayor (a)= 25mm



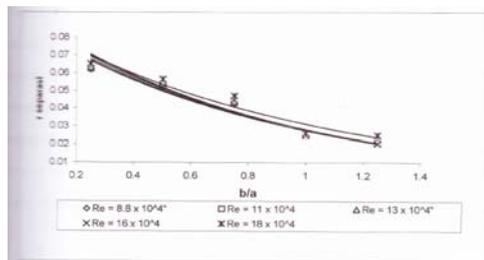
Gambar 11c. Distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji untuk berbagai nilai Reynolds (Re) dengan variasi sumbu mayor (a)= 50 mm



Gambar 11d. Distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji untuk berbagai nilai Reynolds (Re) dengan variasi sumbu mayor (a)= 75 mm



Gambar 11e. Distribusi tekanan statik pada permukaan benda uji untuk berbagai nilai Reynolds (Re) dengan variasi sumbu mayor (a)= 100 m.



Gambar 12. Pengaruh variasi sumbu mayor terhadap titik separasi pada benda uji

Pengaruh bilangan Reynolds terhadap koefisien Drag (C_D), pengaruh bilangan Reynolds terhadap koefisien drag sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Dari gambar dapat dijelaskan bahwa semakin besar bilangan Reynolds untuk perbandingan benda uji ($(p/l) = 4$) dengan merubah bagian depan benda uji berbentuk kurva berdasarkan variasi sumbu mayor bagian depan benda uji berbentuk kurva berdasarkan variasi sumbu mayor (a) berturut-turut 100, 75, 50, 25, 20 dalam satuan milimeter maka koefisien drag semakin kecil. Pada kelima benda uji dengan variasi sumbu mayor (a) yang berbeda terlihat pada gambar diatas bahwa semakin besar variasi sumbu mayor (a) untuk $(p/l) = 4$ maka koefisien drag yang dihasilkan juga semakin kecil. Dapat pula dibandingkan dengan besarnya koefisien drag yang terjadi pada berbagai body pada Tabel 1. bahwa semakin lancip atau semakin besar variasi sumbu mayor (a) bagian depan benda uji maka drag yang dihasilkan semakin kecil, karena drag yang disebabkan oleh tekanan dapat dikurangi karena udara akan lebih mampu mengalir kebelakang lewat atas benda uji dan semakin kecil variasi sumbu mayor (a) atau semakin tumpul bagian depan benda uji tersebut maka drag yang dihasilkan semakin besar.

Pengaruh bilangan Reynolds terhadap distribusi tekanan, dari Gambar 11a. terlihat bahwa hasil penelitian memperlihatkan bentuk yang sama walaupun mempunyai bilangan Reynolds yang berbeda sebagaimana terlihat bahwa tekanan tekan yang terjadi pada bagian depan benda uji diatas titik koordinat $x = 0.8$ cm atau dibawah $x = 1.2$ cm sedangkan tekanan isap terjadi pada permukaan

benda uji sedangkan Gambar 11b juga memperlihatkan bentuk yang sama pada bilangan Reynolds beda sebagaimana terlihat bahwa tekanan tekan yang terjadi pada bagian depan benda uji diatas titik koordinat $x = 0.8$ cm sedangkan tekanan isap terjadi pada permukaan benda uji. Dari Gambar 11c dan 11e menunjukkan bahwa dari hasil penelitian memperlihatkan kemiripan dari kedua perbandingan diatas walaupun bilangan Reynolds beda sebagaimana terlihat bahwa tekanan tekanan terjadi pada bagian depan benda uji diatas titik koordinat $x = 1.2$ cm sedangkan tekanan isap terjadi pada permukaan benda uji. Dari Gambar 11d terlihat bahwa dari hasil penelitian memperlihatkan berbeda dari keempat Gambar hal ini terjadi karena pengaruh pipa kapiler tersumbat menyebabkan fluida mengalir agak terlambat sehingga Gambar 11d. berbeda dari keempat gambar tersebut.

Pengaruh variasi sumbu mayor terhadap separasi pada benda uji dengan muka ellips, dari Gambar 12. dapat dilihat bahwa titik separasi lebih awal terjadi pada benda uji dengan variasi sumbu mayor (a) yang kecil dimana terlihat jari-jari kelengkungan yang kecil sudah terjadi separasi hal ini disebabkan karena pada variasi sumbu mayor yang kecil bentuknya lebih tumpul dibandingkan dengan benda uji yang lain.

Semakin kecil variasi sumbu mayor (a) atau perbandingan jari-jari sumbu minor dan mayor (b/a) besar suatu benda uji maka jari-jari kelengkungan semakin kecil sehingga mengakibatkan titik separasi lebih awal terjadi, dapat pula dilihat bahwa titik separasi yang terjadi untuk kelima benda uji berdasarkan variasi sumbu mayor (a) hampir konstan pada satu titik pada bilangan reynolds yang berbeda.

Bentuk geometri dan bilangan Reynolds dapat menentukan posisi terjadinya titik separasi dimana semakin lancip benda uji berdasarkan variasi sumbu mayor (a) dapat memperlambat terjadinya separation flow karena udara akan lebih mampu mengalir kebelakang lewat permukaan benda uji. Pengaruh bilangan Reynolds terhadap bentuk benda uji terlihat pada gambar diatas bahwa

semakin besar bilangan Reynolds yang diberikan maka titik separasi yang terjadi dapat ditunda karena peralihan dari aliran laminar keturbulen lebih jauh dari titik stagnasi sehingga gaya drag total yang terjadi lebih kecil untuk bilangan Reynolds semakin tinggi, dapat dikatakan bahwa aliran melintasi benda uji dengan merubah bagian depan dengan muat ellips berdasarkan variasi sumbu mayor (a) suatu ellips mengalami separation flow dan terlihat pada gambar untuk variasi sumbu mayor (a) terkecil separation flow lebih awal terjadi untuk bilangan Reynolds yang berbeda. Terjadinya separation flow pada bagian depan benda uji disebabkan oleh adanya distribusi tekanan kurang menguntungkan yang dapat menyebabkan aliran berseparasi dan membentuk pusaran. Ini dapat terjadi bila terjadi penurunan kecepatan atau energi kinetik hingga pada permukaan sama dengan nol, sehingga aliran tidak mampu mengimbangi tekanan pada downstreamnya, sehingga aliran separasi akan terjadi.

KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pada benda uji atau benda tumpul segi empat berdasarkan variasi sumbu mayor (a) adalah sebagai berikut:

Koefisien drag semakin kecil dengan semakin bertambahnya bilangan Reynolds dan variasi sumbu mayor (a) pada benda uji, dan sebaliknya semakin kecil nilai bilangan Reynolds dan variasi sumbu mayor maka koefisien drag semakin kecil

Dengan bilangan Reynolds yang berbeda memperlihatkan distribusi tekanan hampir sama dari kelima benda uji kecuali benda uji variasi sumbu mayor 75 mm hal ini terjadi karena pengaruh pipa kapiler.

Semakin besar jari-jari kelengkungan atau semakin besar variasi sumbu mayor maka titik separasi dapat ditunda ini dapat dilihat pada gambar titik separasi berdasarkan (b/a) untuk kelima benda uji bahwa titik separasi dapat ditunda karena fluida mengalir pada benda uji hambatan yang dialami kurang karena

bentuknya lebih lancip dibandingkan benda uji yang lain.

Dengan adanya aliran separasi disarankan dalam perancangan bodi kendaraan dan benda lainnya sebaiknya memperhatikan peningkatan tekanan pada bagian depan benda uji, bila dalam mendesain bodi kendaraan atau benda lainnya yang bertujuan untuk memperkecil drag sebaiknya memperhatikan bentuk bagian depan benda uji

DAFTAR PUSTAKA

- Abubaker A. Salem, Saib A. Yousif & Yasser F. Nassar, 2003, "Study of the Separated and Total losses in Bends", Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Bali, Indonesia.
- Bird R. B., Stewart W. E. & Lightfoot E. N., 1994, "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, Singapore, Toronto.
- Betz, A., Introduction to the Theory of Flow Machines, Pergamon, London, 1966.
- Cumpsty, N. A., Compressor Aerodynamics, Longman Scientific & Technical, Essex, UK, and Wiley, New York, 1989.
- Daily James, W & Harleman Donald R. F., 1996. "Fluid Dynamics", Addison Wesley Publishing Company, inc.
- Miller S. Donald., "Internal Flow Sistem", Vol-5, In the BHRA Fluid Engineering Series.
- Moelyadi & Franciscus A Widiarsa, 2003, "Penentuan distribusi aliran fluida kompresibel di dalam pipa", ITB Central Library, (online), www.ckodigilib@unmer.ac.id, di akses 12 Juni 2006)
- Sularso & Haruo Tahara, 2004, "Pompa dan Kompresor", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Schlichting Hermann, 1979. "Boundary layer Theory", MC Graw-Hill Book company, New York.
- Yuli Setyo Indartono, 2006, "Meredam Turbulensi Membuat Air Mengalir (jauh) lebih cepat", (online), (www.beritaiptek.com), di akses 12 Juni 2006).

- Thomas Krist, Dr. Ing., 1989, "*Hidraulika*", Penerbit Erlangga, Jakarta.
- White Frank M, 1994. "*Fluid Mechanics*", Third Edition, Mc Graw-hill Book Company, New York.
- Yanuar, 2006, "*Efek penambahan zat aditif terhadap gesekan fluida, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin III*", KKE 225.

RE-INISIASI DETONASI DI BELAKANG PLAT DENGAN ORIFIS GANDA 7 MM

Rizqi Fitri Naryanto¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 3 Oktober 2011, revisi masuk: 11 Januari 2012, diterima: 25 Januari 2012

ABSTRACT

Detonation waves are the combustion reaction waves that propagate at supersonic speeds. The phenomenon of detonation waves that have failed due to the diffraction process which can re-initiated was back into a detonation wave, interesting to understand that this problem related to the safety of hydrogen gas. This study aims to understand of failure mechanisms and re-initiation of detonation wave behind the plate with double orifices 7mm. This experiment use a Detonation Test Pipe (DTP) with 6 meters length, DTP is divided into two parts, namely 1 meter for the driver test pipe and 5 meters to the driven test pipe. Aluminum plate with double orifices diameter of 7 mm and the distance between the orifices 14 mm, 10 mm thickness on the driven test at 5 meters distance from the ignition point. Two mechanisms re-initiation behind the detonation wave propagation test models can be classified as follows: (1) Re-initiation detonation by DDT in down stream area. (2) Re-initiation detonation by shock-wall, re-initiation detonation by interaction between wall pipe and shock wave. Quenching detonation (deflagration) observed at initial pressure of 20kPa, while the initial pressure of 30 - 60kPa re-initiation detonation occurred in the presence of DDT process in the downstream. Re-initiation detonation wave due to interaction between shock wave with the inner wall pipe occurs at the initial pressure of 70-100kPa characterized by the formation of fine smaller detonation cells. To guaranty to make quenching detonation (deflagration), pressure must be in the low pressure at 20kPa to design detonation arrester.

Keywords: *detonation, deflagration, re-initiation.*

INTISARI

Gelombang detonasi adalah gelombang reaksi pembakaran yang merambat pada kecepatan supersonic. Fenomena gelombang detonasi yang telah gagal akibat proses difraksi yang dapat ter-re-inisiasi kembali menjadi gelombang detonasi, menarik untuk dipahami bahwa hal ini berkaitan dengan keselamatan dari gas hidrogen. Penelitian ini bertujuan untuk memahami mekanisme kegagalan dan re-inisiasi gelombang detonasi di belakang plat dengan orifis ganda 7mm. Eksperimen ini menggunakan pipa uji detonasi dengan panjang 6 meter terbagi menjadi dua bagian, yaitu 1 meter untuk bagian driver dan 5 meter untuk bagian driven. Plat aluminium dengan orifis ganda yang berdiameter 7mm dan jarak antar lubang orifis 14mm, tebal 10mm dipasang di bagian driven pada jarak 5 meter dari ignition point. Mekanisme re-inisiasi dibelakang plat dengan orifis ganda yaitu 1). Re-inisiasi detonasi karena adanya proses DDT di daerah downstream. 2). Re-inisiasi detonasi karena adanya interaksi antara gelombang kejut dengan dinding bagian dalam pipa (*shock-wall*). Quenching detonasi (*deflagrasi*) didapatkan pada tekanan awal 20kPa, sedangkan pada tekanan awal 30-60kPa terjadi re-inisiasi detonasi dengan adanya proses DDT di bagian downstream. Re-inisiasi detonasi karena adanya interaksi antara gelombang kejut dengan bagian dalam dinding pipa terjadi pada tekanan awal 70-100kPa ditandai dengan terbentuknya sel detonasi dengan ukuran yang lebih kecil. Untuk memastikan terjadinya quenching detonasi diperlukan tekanan yang rendah (20kPa) untuk mendesain piranti detonation arrester.

Kata kunci: *detonasi, deflagrasi, re-inisiasi*

¹ rizqi_fitri99@yahoo.com

PENDAHULUAN

Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional yang tertuang dalam Peraturan Presiden no 5 tahun 2006 diketahui bahwa peningkatan pemanfaatan bahan bakar gas sebagai sumber energi primer sesuai dengan sasaran kebijakan bauran energi nasional adalah 30,6 % ditahun 2025 dibanding pemakaian saat ini yang masih sekitar 28,57 % hal ini sudah mengalami sedikit kenaikan. Target ini terkait dengan pengurangan konsumsi energi primer minyak bumi dari 51,66 % saat ini menjadi hanya sekitar 20 % ditahun 2025. (Kebijakan Energi Nasional, Peraturan Presiden no 5 tahun 2006). Melalui regulasi tersebut di atas menunjukkan bahwa pada masa mendatang pemakaian bahan bakar gas akan semakin meningkat, oleh karena itu persiapan akan keamanan pada sistem perpipaannya juga harus mendapat perhatian cukup serius. Hal ini diperlukan sebagai langkah untuk menanggulangi kecelakaan yang tidak diinginkan karena kesalahan operasional pada proses eksplorasi maupun produksi karena *human error* ataupun kesalahan sistem yang mengakibatkan terjadinya ledakan dahsyat bahkan terjadinya detonasi yang sangat berbahaya.

Penggunaan gas hidrogen sebagai bahan bakar akan sangat banyak diaplikasikan karena sifat gas ini yang memiliki potensial energi yang tinggi dan hasil pembakarannya yang bersih karena menghasilkan uap air. Namun demikian hidrogen adalah jenis bahan bakar yang sangat reaktif dan mudah terbakar apabila bercampur dengan udara sehingga hal ini dapat memicu terjadinya detonasi karena mempunyai batas konsentrasi mampu bakarnya sangat luas yaitu 5-75% (*Colleg of The Dessert*), sehingga apabila terdapat kebocoran sedikit saja dan adanya kesalahan-kesalahan didalam proses produksi karena *human error* dan tidak berfungsinya sistem pengendali dapat menjadi potensi terjadinya ledakan yang dahsyat dengan dipicu terjadinya detonasi.

Semakin reaktif bahan bakar yang digunakan maka semakin cepat juga laju reaksi pembakaran terjadi, maka gelom-

bang reaksi akan semakin dekat dengan gelombang kejut. Pada fenomena detonasi, dimana *shock front* akan berhimpit dengan *reaction front* dengan jarak dibawah 1 μ s, sehingga pengendalian detonasi dengan teknik mekanikal seperti penggunaan pegas dan katup sudah tidak efektif lagi. Oleh karena itu perlu diobservasi teknik lainnya sebagai tindakan preventif untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan detonasi pada sistem perpipaan untuk industri yang menggunakan bahan bakar yang reaktif. Teknik untuk menggagalkan detonasi ini adalah dengan cara mengendalikan perambatan *shock wave* dan *reaction wave*. Pengendalian ini dapat diperkirakan apabila gelombang detonasi mengalami difraksi, saat terdifraksi laju ekspansi produk pembakaran lebih unggul dari pada laju pelepasan energi gelombang reaksi sehingga membuat terjadinya proses pemisahan gelombang detonasi (kondisi dimana *shock front* dan *reaction front* terpisah).

Penelitian tentang teknik untuk menggagalkan detonasi dengan fenomena difraksi ini telah banyak dilakukan antara lain: Ciccarelli dan Boccio (1998) menggunakan orifis, Hayashi et al (2004) menggunakan nosel konvergen-difergen, Zhu et al (2007) menggunakan *perforate plate* dan Sentanuhady et al (2006) menggunakan *double slit plate* dan Sentanuhady et al (2010) menggunakan *narrow gap* (celah sempit). Untuk melengkapi dan menambah variasi yang sudah ada, penulis menggunakan model orifis ganda untuk membangkitkan fenomena difraksi..

Secara teknis teknik melokalisasi detonasi dengan merambatkan detonasi melalui plat dengan orifis ganda memanfaatkan perpindahan panas dari *reaction front* ke material orifis ganda, perpindahan panas yang signifikan ini menyebabkan penurunan suhu reaksi pembakaran, yang berakibat langsung pada penurunan kecepatan *shock wave*.

Hal ini mengakibatkan terlepasnya *shock front* dengan *reaction front* dengan jarak yang relatif jauh. Fenomena terpisahnya shock front dengan reaction front ini disebut *detonation quenching*. Walaupun pada proses *detonation*

quenching tidak menjamin proses *flame quenching*, namun proses ini memudahkan *flame* untuk dikendalikan.

Untuk menghindari kecelakaan yang terjadi karena ledakan, maka sistem produksi di industri yang menggunakan bahan bakar yang mudah terbakar (*reactive fuels*) memerlukan alat pengaman (*safety equipment*) yang berfungsi untuk menghentikan atau menggagalkan proses perambatan detonasi, sehingga kecelakaan detonasi dapat diantisipasi dan kerugian besar yang diakibatkan oleh ledakan dapat dihindari.

Dengan melakukan penelitian ini akan didapatkan karakteristik dan pola perambatan detonasi di belakang bahan material plat dengan orifis ganda yang dapat digunakan sebagai metode yang mendesain alat pengaman (*detonation arrester*) dalam sistem produksi di industri yang menggunakan bahan bakar hidrogen khususnya dan bahan bakar yang mudah terbakar (*reactive fuel*) pada umumnya sehingga jaminan keamanan dapat terpenuhi.

Teknik melokalisir detonasi ini hanya efektif jika perambatan *shock wave* dan *reaction wave* dapat dikendalikan. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengendalikan perambatan detonasi ini yaitu dengan melewati gelombang detonasi melalui material plat dengan orifis ganda. Gelombang detonasi yang melalui diameter lubang sempit akan mengalami ekspansi sehingga *shock wave* dan *reaction wave* terpisah yang pada akhirnya kecepatan rambat detonasi dapat dikendalikan menjadi deflagrasi (kondisi dimana *shock front* dan *reaction front* terpisah).

Dalam penelitian ini, material plat dengan orifis ganda terbuat dari alumunium dengan ketebalan 10 mm dengan diameter lubang 5 mm, dan jarak antar lubang dua kali diameter digunakan sebagai model untuk mengetahui mekanisme dan karakteristik gelombang detonasi serta efek dari variasi tekanan terhadap *detonation quenching*. Apabila segitiga pembakaran terpenuhi yaitu adanya *fuel* (bahan bakar) yang dalam hal ini hidrogen (H_2), adanya *oxidizer* yaitu udara atau oksigen (O_2) dan *heat*

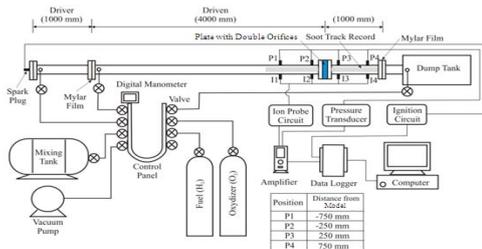
source yang didapat dari busi/spark plug maka terjadilah proses pembakaran. Dari sekian banyak bahan bakar yang digunakan dalam industri, hidrogen merupakan jenis bahan bakar yang sangat reaktif (*reactive fuels*) yang dapat memicu terjadinya detonasi. *Shock wave* yang merambat tepat di depan *reaction wave (flame front)* memiliki tekanan yang sangat tinggi hingga bisa mencapai 20 kali dari tekanan awal dan dapat mencapai 80 kali tekanan awal bila dalam kondisi proses *deflagration to detonation* (DDT). Tekanan yang ekstrim tinggi ini berpotensi menghancurkan apa saja yang ada di depan *shock wave* tersebut sehingga hal tersebut akan sangat membahayakan bagi keamanan keselamatan manusia dan juga dapat menghancurkan peralatan yang ada di depan *shock wave*.

METODE

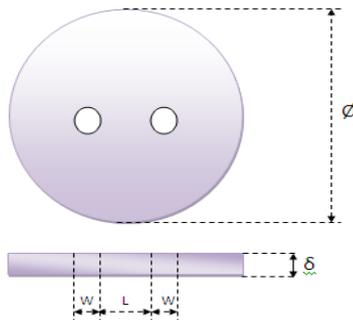
Langkah-langkah penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 yang menunjukkan skematik eksperimen, yang memakai *horizontal detonation tube* dan alat-alat pendukung lainnya. Pipa detonasi (*detonation tube*) yang memiliki panjang total 6.000 mm dan diameter dalam 50 mm dibagi dalam 2 bagian. Bagian pertama disebut *driver tube* dan bagian kedua disebut *test tube (driven tube)*. *Driver tube* berfungsi memberikan energi inisiasi yang besar ke dalam *test tube* sehingga pada *test tube* sudah terjadi detonasi. Gelombang detonasi akan merambat dari *driver tube* melalui model plat dengan orifis ganda menuju ke arah *dump tank*.

Empat sensor dipasang pada sepanjang *test tube* dimana masing-masing 2 sensor tekanan dipasang di daerah *upstream* (P1 dan P2) dan *downstream* (P3 dan P4) dari model uji. Hal ini diperlukan karena untuk mendapatkan nilai perbedaan tekanan di daerah *upstream* dan *downstream* dari model uji. Untuk mendeteksi proses pembakaran (*detonation front*) pada suatu posisi, empat sensor *ionization* juga dipasang pada *test tube* yang posisinya berlawanan dengan posisi sensor tekanan dan dipasang pada I1, I2, I3 dan I4. Dengan menggunakan sensor-

sensor diatas, kecepatan rata-rata dari gelombang detonasi akan dapat dihitung dengan tepat. Sensor tekanan dan sensor *ionization* tersebut dihubungkan dengan *amplifier* dan *digital data recorder*, untuk kemudian datanya dapat diolah dan divisualisasikan di komputer.



Gambar 1. Skema Alat Uji Detonasi



Gambar 2. Model plat dengan orifis ganda 7 mm (*plate with double orifices 7 mm*).

Gambar 2 adalah model plat dengan orifis ganda (*plate with double orifices*) yang dibuat dari material aluminium yang dipasang di dalam *test tube* pada posisi antara P2 dan P3. Model plat dengan orifis ganda (*plate with double orifices*) dengan diameter lubang (*diameter of holes*) 7 mm (table 1) digunakan sebagai model uji, dengan menempatkan model plat dengan orifis ganda pada alat uji diharapkan dapat melihat kesinambungan terjadinya proses mulai dari *re-initiation detonation* sampai ke *detonation quenching* di belakang model uji.

Proses pengisian (*filling*) dari campuran bahan bakar gas (*premixed gas*) ke dalam *detonation tube* dikontrol dengan *high-precision digital pressure sensor* (Keyence) sehingga didapatkan

keakuratan tekanan awal (*initial pressure*) campuran bahan bakar gas di dalam *detonation tube*. Busi (*spark plug*) dan *unit coil* dari kendaraan bermotor digunakan sebagai sumber energi untuk mengawali proses pembakaran di dalam *driver tube*. *Flow field* dari proses pembakaran di daerah *upstream* dan *downstream* dari model direkam dengan teknik *soot track record* untuk mendapatkan gambaran sel detonasi (*detonation cell*) disekitar model-model, sehingga mekanisme dari *detonation propagation* dan *detonation quenching* dapat dipahami.

Bahan bakar yang digunakan adalah gas hidrogen dengan oksidizer oksigen pada *equivalence ratio* = 1 (*stoichiometric*) dan campuran bahan bakar tersebut disimpan selama minimal 12 jam sebelum digunakan dalam eksperimen untuk menjamin proses homogenitas yang baik. Tekanan awal campuran bahan bakar di dalam *detonation tube* diset pada tekanan 20 kPa sampai 100 kPa dengan interval kenaikan 10 kPa. Eksperimen ini akan dilaksanakan pada suhu ruangan yaitu berkisar antara 27- 33°C.

Tabel 1. Konfigurasi dari plat orifis ganda (*Configuration of plate with double orifices*)

Parameter of Plate with Double Orifices	Dimension
Diameter of flange, Ø (mm)	145
Thickness, δ (mm)	14
Distance between orifices, L (mm)	2xW
Diameter of orifice, w (mm)	7
Material	Aluminum

Detail bahan bakar dan kondisi-kondisi eksperimen ditampilkan pada Tabel 2.

Dari tahapan yang telah disebutkan, maka diharapkan parameter-parameter termodinamika yang akan mempengaruhi *detonation quenching* bisa didapatkan dan digambarkan dengan jelas. Demikian halnya dengan parameter-parameter fisik seperti dimensi diameter lubang (*diameter of holes*), yang mempengaruhi *detonation quenching* dapat didefinisikan sehingga dengan mudah dapat diimplementasikan

dalam proses desain *detonation arrester* untuk sistem berbahan bakar hidrogen.

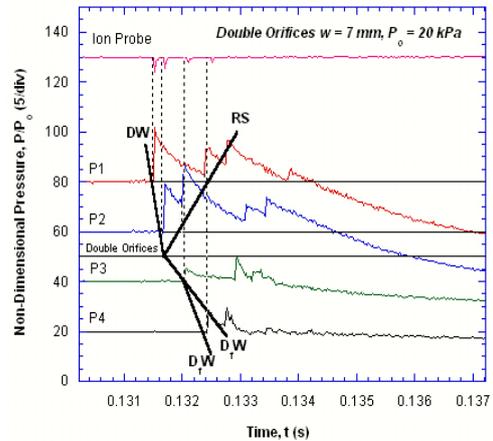
Tabel 2. Eksperimental conditions of driver and driven gas

Parameter	Driver tube	Driven (test tube)
Fuel	Hydrogen	Hydrogen
Oxidizer	Oxygen	Oxygen
Equivalence ratio, ϕ	1	1
Initial pressure (kPa)	100	20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Temperature	Room temperature	Room temperature

PEMBAHASAN

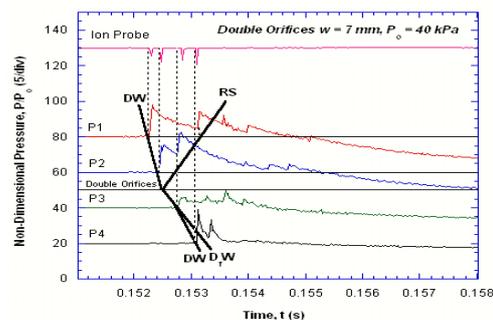
Mekanisme re-inisiasi perambatan gelombang detonasi setelah melalui plat dengan orifis ganda dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu: (1) Re-inisiasi detonasi karena proses DDT. (2) Re-inisiasi detonasi karena interaksi gelombang kejut dengan dinding pipa. Masing-masing mekanisme re-inisiasi gelombang detonasi akan dijelaskan sebagai berikut. Gambar 3a, 3b dan 3c menunjukkan profil tekanan gelombang kejut dan kedatangan api gelombang reaksi untuk setiap kondisi eksperimen yang berbeda. Sumbu vertikal merupakan tekanan non-dimensi p/p_o , sedangkan sumbu horizontal merupakan waktu kedatangan gelombang pembakaran yang dihitung mulai dari posisi model plat dengan orifis ganda. Gelombang kejut dideteksi oleh sensor P1, P2, P3 dan P4 sedangkan api gelombang reaksi dideteksi oleh sensor *ion probe*. Model plat dengan orifis ganda dipasang di antara sensor P2 dan P3 untuk membangkitkan fenomena difraksi pada gelombang detonasi. DW merupakan *detonation wave*, DW_r merupakan *deflagration wave* dan RS merupakan *reflected shock*.

Gambar 3a menunjukkan kondisi eksperimen pada tekanan awal gas $p_o = 20$ kPa, model plat dengan orifis ganda $w = 7$ mm, tampak bahwa gelombang detonasi yang stabil merambat di *upstream* dan di daerah *downstream*,



Gambar 3a. Profil gelombang reaksi dan tekanan gelombang kejut pada kondisi Quenching detonasi (deflagrasi) $p_o = 20$ kPa, $w = 7$ mm.

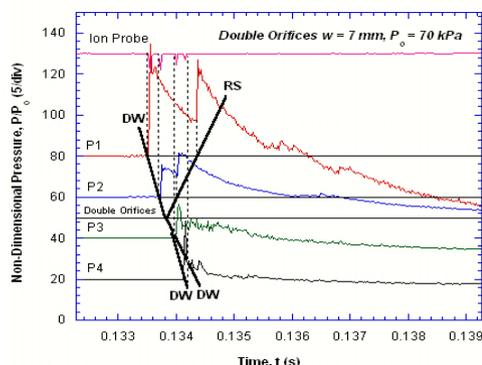
kemudian di belakang model dengan plat orifis ganda terjadi *quenching* detonasi mulai dari sensor P3 hingga sensor P4, dengan ditandai adanya kenaikan tekanan gelombang kejut bersamaan dengan turunnya sinyal ionisasi namun antara gelombang kejut (*shock wave*) dan gelombang reaksi (*reaction wave*) tidak berhimpit.



Gambar 3b. Profil gelombang reaksi dan tekanan gelombang kejut pada kondisi Re-inisiasi detonasi oleh DDT, $p_o = 40$ kPa, $w = 7$ mm.

Gambar 3b menunjukkan kondisi eksperimen pada tekanan awal gas $p_o = 40$ kPa model plat dengan orifis ganda $w = 7$ mm, tampak bahwa terjadinya gelombang refleksi seperti pada kondisi 3c. Setelah melalui celah pada plat dengan orifis ganda,

gelombang detonasi ter-*quenching* menjadi gelombang deflagrasi oleh adanya difraksi dan tidak langsung ter-re-inisiasi oleh interaksi gelombang kejut dengan dinding pipa melainkan ter-re-inisiasi oleh proses DDT (*deflagration to detonation transition*) pada jarak antara posisi sensor P3 dan P4. Kenaikan tekanan sensor P3 bersamaan dengan turunnya sinyal ionisasi dan besar kenaikan tekanan hanya 5 kali tekanan awal (200kPa) dimana tekanan ini jauh lebih kecil dari tekanan teoritis CJ detonasi, $P_{CJ} = 726$ kPa sehingga perambatan pembakaran dikategorikan sebagai gelombang deflagrasi. Namun gelombang deflagrasi ini berkecenderungan mempercepat dari posisi ke posisi dan akhirnya melalui proses DDT menjadi gelombang detonasi dengan ditandai adanya deteksi naiknya tekanan di sensor P4 bersamaan dengan turunnya sinyal ionisasi dan besar puncak tekanan mencapai 19 kali tekanan awal (1330kPa) dimana lebih besar dari tekanan CJ detonasi P_{CJ} .



Gambar 3c. Profil gelombang reaksi dan tekanan gelombang kejut pada kondisi Re-inisiasi detonasi oleh interaksi gelombang kejut dengan dinding pipa, $p_0 = 70$ kPa, $w = 7$ mm.

Gambar 3c menunjukkan kondisi eksperimen pada tekanan awal gas $p_0 = 70$ kPa model plat dengan orifis ganda $w = 7$ mm. Ketika gelombang detonasi merambat mengenai model plat dengan orifis ganda terjadi pemantulan (refleksi) gelombang kejut ke arah daerah *upstream* yang ditandai dengan adanya kenaikan tekanan tanpa disertai turunnya sinyal ionisasi, hal ini menandakan bah-

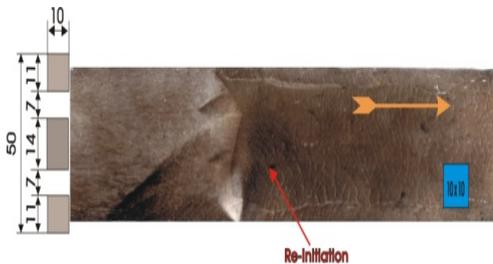
wa gelombang refleksi terjadi tanpa proses pembakaran. Setelah melalui model dengan plat orifis ganda, gelombang detonasi terdifraksi yang kemudian ter-re-inisiasi kembali pada jarak sebelum sensor P3 oleh interaksi gelombang kejut dengan dinding pipa (*shock-wall*) sehingga sensor P3 dan P4 mendeteksi adanya perambatan gelombang detonasi dengan ditandai naiknya sinyal tekanan bersamaan dengan turunnya sinyal ionisasi. Setelah ter-reinisiasi, gelombang detonasi cenderung mempercepat laju pembakarannya dengan ditandai adanya garis kenaikan sensor pada tekanan P3 dan P4 dengan sudut yang makin membesar dari posisi model plat dengan orifis ganda berada. Sensor P3 dan P4 mendeteksi besar tekanan gelombang kejut yang hampir konstan hingga mencapai 18 kali tekanan awal yaitu 1260 kPa dimana tekanan ini sedikit lebih kecil dari tekanan teoritis CJ detonasi $P_{CJ} = 1293$ kPa. Tekanan teoritis P_{CJ} ini jauh lebih besar dari tekanan yang terdeteksi pada sensor P3 atau P4 karena adanya asumsi seperti viskositas campuran gas, *heat transfer* dan konduktifitas gas. Hal ini menandakan bahwa setelah ter-re-inisiasi, gelombang detonasi merambat dengan stabil di daerah *downstream*.

Gambar 4a, 4b dan 4c menunjukkan pola perambatan gelombang detonasi yang terbentuk pada *soot track record* di belakang model plat dengan orifis ganda seperti pada kondisi eksperimen Gambar 3a, 3b dan 3c. *Soot track record* merupakan suatu plat tipis terbuat dari bahan aluminium dengan ketebalan 0,3mm yang telah dilapisi jelaga dari proses pembakaran minyak tanah sehingga dapat menangkap sel detonasi ketika ada rambatan gelombang detonasi di permukaan *soot track record*.

Gambar 4a menunjukkan kondisi eksperimen seperti pada Gambar 3a. Pada Gambar 3a tampak bahwa sel detonasi terbentuk di daerah *upstream* terekam oleh sensor P1 dan P2, namun di daerah *downstream* tidak terbentuk sel detonasi sama sekali mulai dari sensor P3 hingga P4. Hal ini menandakan bahwa telah terjadi *quenching* detonasi (deflagrasi) di belakang model plat dengan orifis ganda di daerah *downstream*.



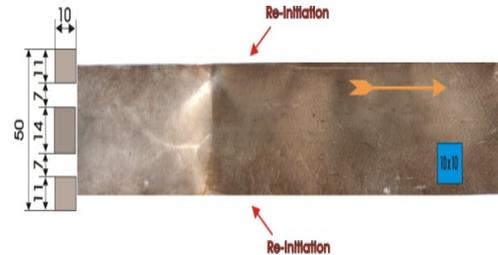
Gambar 4a. *Soot track record* di daerah *downstream* pada pipa uji detonasi di belakang plat dengan orifis ganda pada kondisi *Quenching* detonasi (deflagrasi), $p_o = 20$ kPa, $w = 7$ mm.



Gambar 4b. *Soot track record* di daerah *downstream* pada pipa uji detonasi di belakang plat dengan orifis ganda pada kondisi Re-inisiasi detonasi oleh DDT, $p_o = 40$ kPa, $w = 7$ mm.

Gambar 4b menunjukkan pola perambatan gelombang detonasi di belakang model plat dengan orifis ganda seperti pada kondisi eksperimen gambar 3b. Pada gambar 4b tampak bahwa setelah detonasi merambat keluar dari plat dengan orifis ganda, gelombang detonasi terdifraksi menjadi gelombang deflagrasi namun tidak langsung re-inisiasi oleh interaksi antara gelombang kejut dengan dinding pipa, melainkan oleh adanya proses DDT akibat pengaruh kekasaran dinding pipa yang membuat api menjadi aliran turbulen sehingga mengakselerasi api dan akhirnya mentransisi menjadi gelombang detonasi. Interaksi antara gelombang kejut dengan bagian dalam dinding pipa hanya menghasilkan *mild explosion* yang tidak mampu re-inisiasi gelombang deflagrasi menjadi gelombang detonasi. Terjadinya re-inisiasi oleh DDT ditandai dengan pembentukan sel detonasi yang kecil-kecil dimulai dari tengah *soot track record* dan makin lama makin membesar yang akhirnya konstan di daerah *down-*

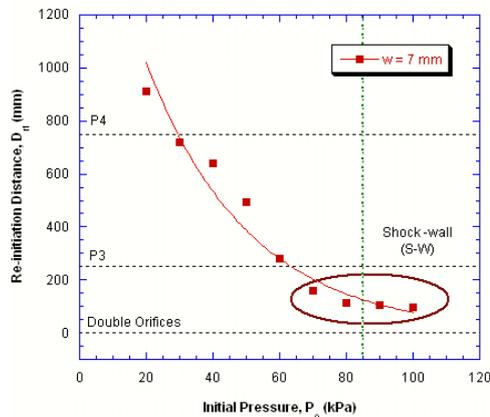
stream. Ketika DDT terjadi, kecepatan dan tekanannya membesar (*overdriven detonation*) dan akhirnya menuju kondisi CJ detonasi di daerah *downstream* model plat dengan orifis ganda.



Gambar 4c. *Soot track record* di daerah *downstream* pada pipa uji detonasi di belakang plat dengan orifis ganda pada kondisi Re-inisiasi detonasi oleh interaksi gelombang kejut dengan dinding pipa, $p_o = 70$ kPa, $w = 7$ mm.

Gambar 4c menunjukkan kondisi eksperimen seperti pada Gambar 3c. Pada Gambar 4c tampak sel detonasi yang konstan terbentuk di daerah *upstream* dan *downstream* mulai dari sensor P1 hingga P4. Terbentuknya sel detonasi yang konstan menandakan bahwa gelombang detonasi merambat dengan kecepatan dan tekanan yang konstan pula, sehingga dapat disimpulkan gelombang detonasi merambat stabil di daerah *upstream* dan *downstream* dari model plat dengan orifis ganda meski tampak pula bahwa setelah detonasi merambat melewati plat dengan orifis ganda, gelombang detonasi terdifraksi dan gelombang kejut dilemahkan oleh gelombang ekspansi yang dimulai dari permukaan plat dengan orifis ganda sehingga menyebabkan gagalnya proses *self sustained propagation* detonasi, lalu terjadi proses pemisahan antara gelombang kejut dengan gelombang reaksi dan perambatan pembakaran menjadi deflagrasi yang ditandai oleh adanya penghapusan jelaga di permukaan *soot track record*. Kemudian gelombang deflagrasi merambat terus ke arah *downstream* seiring dengan gelombang kejut yang terus membesar disebabkan mengenai dinding pipa dan menghasilkan *hot spot (local explosion)* sehingga menciptakan kembali proses *self sustained propagation* detonasi dengan ditandai adanya pem-

bentukan sel detonasi yang kecil-kecil dimulai dari kedua sisi *soot track record* dan makin lama makin membesar yang pada akhirnya konstan di daerah *downstream*.



Gambar 5. Hubungan antara jarak re-inisiasi detonasi *Dri* dengan tekanan awal campuran bahan bakar hidrogen dan oksigen P_o .

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara jarak re-inisiasi detonasi *Dri* dengan tekanan awal campuran bahan bakar hidrogen dan oksigen P_o . Sumbu ordinat (sumbu vertikal) merupakan jarak re-inisiasi detonasi *Dri* dan sumbu absis (sumbu horizontal) merupakan tekanan awal campuran bahan bakar hidrogen dan oksigen P_o . Tekanan awal yang diujikan pada bagian *driver* selalu konstan 100kPa untuk menjamin telah terjadinya proses detonasi pada bagian *driven* sebelum gelombang kejut (*shock wave*) merambat dan terdifraksi melewati model uji serta tekanan divariasikan di bagian *driven* mulai 20kPa sampai dengan 100kPa untuk mengetahui fenomena re-inisiasi detonasi di belakang model uji tersebut. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan tekanan yang semakin kecil maka jarak re-inisiasi detonasi *Dri* akan lebih panjang dimana proses re-inisiasi detonasi karena adanya proses DDT terjadi pada rezim 30 kPa- 60 kPa, sedangkan 20 kPa terjadi fenomena *quenching* detonasi begitu juga sebaliknya bila tekanan campuran bahan bakar oksigen-hidrogen (oksihidrogen) semakin besar maka jarak re-inisiasi detonasi *Dri* akan semakin pendek dan proses re-inisiasi detonasi kare-

na adanya interaksi antara gelombang kejut dengan dinding pipa (*shock - wall*) yang diakibatkan oleh adanya kekasaran pada dinding pipa terjadi pada rezim ini, yaitu pada tekanan 70–100kPa. *Node solid symbol* bujur-sangkar yang dilingkari menandakan proses terjadinya re-inisiasi detonasi, hal ini terjadi pada rezim sebelum P3 yang berarti re-inisiasi detonasi termasuk dalam proses transmisi detonasi dimana proses re-inisiasi detonasi terjadi dekat dengan model uji plat dengan orifis ganda dengan jarak re-inisiasi detonasi *Dri* yang lebih pendek

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan fenomena difraksi yang menggunakan model plat dengan orifis ganda terhadap mekanisme re-inisiasi detonasi di belakang plat dengan orifis ganda. Mekanisme re-inisiasi dibelakang plat dengan orifis ganda dapat dikategorikan menjadi dua yaitu :

Re-inisiasi detonasi karena adanya proses DDT di daerah *downstream*; Re-inisiasi detonasi karena adanya interaksi antara gelombang kejut dengan dinding bagian dalam pipa (*shockwall*).

Quenching detonasi (deflagrasi) didapatkan pada tekanan awal 20kPa, sedangkan pada tekanan awal 30kPa - 60kPa terjadi re-inisiasi detonasi dengan adanya proses DDT di bagian *downstream*. Re-inisiasi detonasi karena adanya interaksi antara gelombang kejut dengan bagian dalam dinding pipa terjadi pada tekanan awal 70-100kPa ditandai dengan terbentuknya sel detonasi dengan ukuran yang lebih kecil.

Untuk memastikan terjadinya *quenching* detonasi diperlukan tekanan yang rendah (20 kPa) untuk mendesain piranti *detonation arrester*.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih diucapkan kepada Dr. Eng. Jayan Sentanuhady, ST., M. Eng selaku pembimbing S-2, Laboratorium Konversi Energi Universitas Gadjah Mada, Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Bersaing 2010, Hibah JTMI 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Ciccarelli, G., Boccio, J.L., 1998: *Detonation wave propagation through a single orifice plate in a circular tube*. In: Proceedings of Twenty seventh Symposium (International) (Combustion, Comb. Inst. pp. 2233–2239.
- Hayashi, K. H. Jotaki, J. Misawa, and H. Sato, 2004: *Detonation propagation structure in converging-diverging nozzle*. Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research. Sendai, Japan.
- Sentanuhady, J., Obara, T., Tsukada, Y., Ohyagi, S, 2006: *Re-initiation processes of detonation wave behind slit-plate—influence of initial test gas pressure* – (in Japanese). Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. Ser.B72, 3158–3165.
- Sentanuhady, J., Santoso, T., 2010: *Mekanisme Reinisiasi Perambatan Gelombang Detonasi di Belakang Celah Sempit*. Proceedings Seminar Nasional Thermofluid 2010, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zhu, Y.J., Chao, J., Otsuka, T., Lee, J.H.S., 2007: *An Experimental Investigation of Propagation Mechanism of Critical Deflagration Waves that Lead to The Onset of Detonation*, Proc. Comb.Inst. 30, 1889-1897.

DESAIN TRAFU CORELESS MENGGUNAKAN VIZIMAG

Uminingsih¹

¹Jurusan Matematika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 8 Nopember 2011, revisi masuk : 3 Januari 2012, diterima: 21 Januari 2012

ABSTRACT

This paper describes a simulation of coreless transformer design using Vizimag which is a software application tool for computation based on finite element method. The objective of this research is to study the effect of the coreless transformer parameters through the secondary output voltage such that it is hoped the optimal design to be achieved. Method is done by determining parameters which affect to coreless transformer such as frequency and coupling coefficient as variable to be simulated. Primer of transformer has diameter and height of solenoid of 50 cm and 30 cm with 11 winding, input voltage of 20 kV where as secondary of transformer has diameter and height of solenoid of 194 cm and 40 cm with 970 winding, these all are determined as constant parameters. The results of simulation show that the placement of primer solenoid in the secondary solenoid affects deeply to secondary voltage and to coupling coefficient. In addition frequency affects deeply to secondary voltage where by increasing the frequency it will increase secondary voltage until reaching optimum voltage. In position of primer solenoid in the centre of secondary solenoid and frequency higher than 90 kHz, the optimum simulation design of coreless transformer is achieved which are secondary voltage of 489 kV, coupling coefficient of 28,4%, and overall power efficiency of 0,71%.

Keywords: coreless traformer, simulation, design, high voltage

INTISARI

Pada makalah ini dijelaskan tentang simulasi disain trafo coreless menggunakan Vizimag yaitu suatu perangkat aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*finite element method*). Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mempelajari pengaruh parameter trafo coreless terhadap tegangan output sekundernya sehingga diharapkan akan diperoleh disain yang optimum. Metode yang dilakukan dengan menentukan parameter yang sangat berpengaruh pada trafo coreless yaitu frekuensi dan koefisien gandengan sebagai variabel yang disimulasikan. Primer trafo mempunyai diameter dan tinggi solenoid 50 cm dan 30 cm dengan jumlah lilitan 11, tegangan input 20 kV, , sedangkan sekunder trafo mempunyai lilitan 970, diameter dan tinggi solenoid 194 cm dan 40 cm sebagai parameter tetap pada simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan posisi solenoid primer pada solenoid sekunder trafo sangat mempengaruhi tegangan sekunder dan koefisien gandengan trafo coreless. Sedangkan frekuensi sangat mempengaruhi tegangan sekunder, makin besar frekuensi makin besar tegangan sekunder sampai mencapai optimum. Pada posisi solenoid primer ditengah-tengah solenoid sekunder dan frekuensi diatas 90 kHz diperoleh hasil simulasi disain trafo coreless yang optimum yaitu memberikan tegangan sekunder 489 kV dan koefisien gandengan 28,4% dan efisiensi daya total 0,71%.

Kata kunci: trafo coreless, simulasi, desain, tegangan tinggi

PENDAHULUAN

Perkembangan dan kemajuan teknologi Industri di bidang manufactur yang menggunakan sumber daya hingga

Mega Volt semakin hari semakin banyak jumlahnya. Dengan kata lain semakin hari semakin banyak kebutuhan sumber daya pembangkit tegangan tinggi ini (misalnya

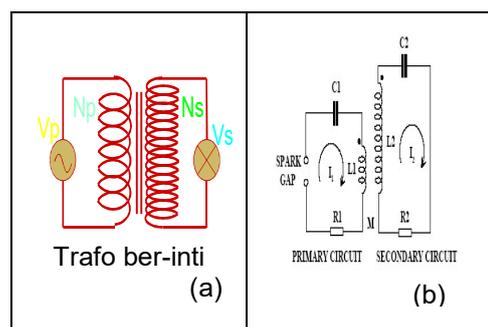
pada MBE/Mesin berkas electron, pada ESP/Elektrostatik Presipator). Aplikasi lain dari coreless transformer adalah digunakan untuk sistem aktivasi pada microwave (Alberto M.Pernia, et.all., 2007). Ada dua jenis trafo pembangkit tegangan ialah; Trafo jenis ber-inti (untuk pembangkit tegangan output orde puluhan kV) dan jenis Trafo Tak ber-inti./coreless Trafo (untuk penghasil tegangan output orde ratusan kV hingga MV) .

Agar dapat memperoleh pembangkit tegangan yang besar outputnya sesuai dengan kebutuhan mesin yang digunakan maka perlu desain konstruksi yang tepat. Dalam proses desain langkah-langkah yang dilakukan adalah menentukan besarnya tegangan input, tegangan output dan nilai-nilai parameter yang dibutuhkan. Dengan menggunakan rumus-rumus yang berkaitan dan dengan melakukan perhitungan akan diperoleh hasilnya. Langkah-langkah ini harus dilakukan tidak hanya sekali melakukan perhitungan karena untuk mendapatkan nilai besaran fisis dari komponen-komponen yang tersedia di pasaran tidak selalu ada yang sesuai dengan nilai parameter yang diperoleh dari perhitungan rumus. Selama ini yang kebanyakan dilakukan orang adalah menggunakan cara manual dalam penyelesaian perhitungan.dari rumus-rumus serta dengan cara coba-coba untuk menentukan nilai parameter yang tepat ,dan ini sungguh memakan waktu dan tenaga yang banyak. Oleh karena itu perlu dicarikan cara untuk mengatasinya.

Dengan adanya software Vizimag aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*Finite Element Method*) yaitu suatu metode numerik untuk menyelesaikan persoalan fisika atau teknik tertentu, diharapkan dapat membantu memudahkan dalam desain trafo coreless. Dari hasil simulasi diharapkan dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh parameter desain sehingga akan diperoleh desain yang optimum. Simulasi merupakan suatu cara yang efisien dalam memahami suatu sifat fisika atau kimia. Modeling suatu trafo untuk beban dan daya tetap banyak dilakukan (Nasser D Tleis,2008).

Prinsip trafo Coreless ini menggunakan kumparan Tesla (Martin,1997) sebagai kumparan primer dan sekundernya, yang dapat mentransfer energy melalui suatu media tanpa penghantar (menggunakan suatu kawat) yaitu menggunakan gelombang radio dan TV.(Roger A.Fredman dan Young,2003) Frekuensi yang dihasilkan oleh transformator ini berkisar antara 50-400 KHz. (Marco Denicolai, 2001).

Konstruksi dasar trafo coreless terdiri dari bagian primer dan sekunder. Karena tanpa inti maka transfer energinya melalui gelombang radio frekuensi yang dihasilkan dari osilator dalam hal ini adalah Spark Gap. Tegangan AC pada spark gap ini disuplai dari tegangan output (Vs) trafo berinti yang mana tegangan input trafo tersebut diambil dari PLN. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Model rangkaian ekuivalen Coreless Transformator

Pada Gambar 1 (a) besar tegangan AC dari output Vs yang digunakan untuk mensuplai spark gap dapat dihitung besarnya. Lilitan primer yang memiliki N_p putaran dengan tegangan input AC sebesar ε_p dan lilitan sekunder mempunyai N_s putaran. Karena fluks magnetik itu berubah-ubah dalam kedua lilitan tersebut maka terbentuk *ggl* induksi sebagai berikut :

$$\varepsilon_1 = -N_p \frac{d\phi}{dt} \quad \text{dan} \quad \varepsilon_2 = -N_s \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Fluks per putaran ϕ adalah sama dalam gulungan primer dan sekunder.,sehingga *ggl* induksi per putaran adalah sama dalam satu lilitan.

$$\dots \frac{\mathcal{E}_s}{\mathcal{E}_p} = \frac{N_s}{N_p} \dots \dots \dots (2)$$

\mathcal{E}_p dan \mathcal{E}_s keduanya beresilasi dengan frekuensi yang mirip sumber AC, persamaan 2, menunjukkan rasio dan amplitudo-amplitudo atau dari nilai-nilai rms dari ggl induksi. Bila hambatan nol, maka ggl induksi \mathcal{E}_p dan \mathcal{E}_s adalah tegangan terminal yang berturut-turut melalui primer dan sekunder, maka :

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \dots \dots \dots (3)$$

dimana V_p dan V_s adalah tegangan (Volt) atau nilai rms dari tegangan-primer dan sekunder.

Pada Gambar 1(b) dan berdasarkan hukum Kirchoff jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup adalah nol maka

$$R_1 i_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

$$R_2 i_2 + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

Jika q_i adalah muatan sesaat didalam kapasitor C_1 dan C_2 untuk masing masing rangkaian maka

$$i_i = \frac{dq_i}{dt} \quad i = 1,2 \dots \dots \dots (6)$$

Substitusi persamaan (6) ke persamaan (4) dan (5) maka diperoleh

$$R_1 \frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_1} q_1 + L_1 \frac{d^2 q_1}{dt^2} + M \frac{d^2 q_2}{dt^2} = 0 \dots \dots \dots (7)$$

$$R_2 \frac{dq_2}{dt} + \frac{1}{C_2} q_2 + L_2 \frac{d^2 q_2}{dt^2} + M \frac{d^2 q_1}{dt^2} = 0 \dots \dots \dots (8)$$

Dengan mengintroduksi operator difrensial Δ sebagai fungsi waktu dan menata ulang persamaan (7) dan (8) maka

$$\left[\Delta^2 + \frac{R_1}{L_1} \Delta + \frac{1}{L_1 C_1} \right] q_1 + \frac{M}{L_1} \Delta q_2 = 0 \dots \dots \dots (9)$$

$$\left[\Delta^2 + \frac{R_2}{L_2} \Delta + \frac{1}{L_2 C_2} \right] q_2 + \frac{M}{L_2} \Delta q_1 = 0 \dots \dots \dots (10)$$

Persamaan (9) dan (10) menghasilkan persamaan karakteristik sebagai berikut

$$(1 - k^2) D^4 + \left\{ \frac{R_1}{L_1} + \frac{R_2}{L_2} \right\} D^3 + \left\{ \omega_1^2 + \omega_2^2 + \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} \right\} D^2 + \left\{ \frac{R_1}{L_1} \omega_2^2 + \frac{R_2}{L_2} \omega_1^2 \right\} D + \omega_1^2 \omega_2^2 = 0 \dots \dots (11)$$

dengan $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ dan $\omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_i C_i}}$ dimana $i=1,2$ (12)

k adalah koefisien gandengan (coupling coefficient) yang besarnya $0 < k < 1$ sedangkan ω_1 dan ω_2 masing-masing adalah frekuensi resonansi rankaian primer dan sekunder dalam keadaan tanpa gandengan. Persamaan (11) adalah persamaan difrensial homogen linier orde empat yang mempunyai empat akar kompleks $D_i, i=1, \dots, 4$. Jika akarnya berbeda maka empat fungsi.

$$y_i = e^{D_i t} \quad i = 1, \dots, 4 \dots \dots \dots (13)$$

membentuk suatu basis ruang persamaan untuk sistem dari persamaan (9) dan (10). Persamaan umum dari sistem persamaan ini adalah

$$q_1 = \sum_{i=1}^4 A_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (14)$$

$$q_2 = \sum_{i=1}^4 B_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (15)$$

Konstanta A_i dan B_i dan dievaluasi menggunakan kondisi awal pada saat $t=0$ yaitu

$$q_1 = q_0, \quad q_2 = 0, \quad \Delta q_1 = \Delta q_2 = 0 \dots \dots \dots (16)$$

Dimana q_0 adalah muatan awal pada kapasitor primer. Besar tegangan kapasitor sekunder dan primer adalah

$$V_1 = \frac{1}{C_1} q_1 = \frac{1}{C_1} \sum_{i=1}^4 A_i e^{D_i t} \quad V_2 = \frac{1}{C_2} q_2 = \frac{1}{C_2} \sum_{i=1}^4 B_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (17)$$

Penyelesaian dalam bentuk v_1 dan v_2 dapat diperoleh hanya dalam keadaan

ideal yaitu tanpa tahanan *damping* ($R_1 = R_2 = 0$). Akar D_i dari persamaan (11) hanya mempunyai bagian imajiner dan tegangan sekunder dapat dinyatakan sebagai berikut

$$V_2(t) = \frac{2kV}{\sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}} \left[\frac{L_2}{L_1} \sin\left(\frac{w_2 + w_1}{2}t\right) \cdot \sin\left(\frac{w_2 - w_1}{2}t\right) \right] \quad (18)$$

dengan

$$T = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{L_2 C_2}{L_1 C_1} \quad (19)$$

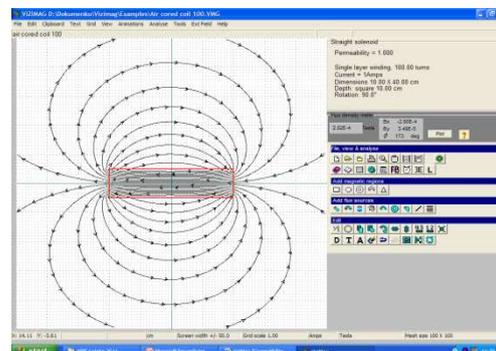
$$w_1 = \omega_2 \sqrt{\frac{(1+T) - \sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}}{2(1-k^2)}}$$

$$w_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{(1+T) + \sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}}{2(1-k^2)}} \quad \dots (20)$$

T adalah *tuning ratio* (nisbah penala) yang didefinisikan sebagai kuadrat nisbah dari frekuensi resonansi tak gandingan (Johnson,1992), sedangkan V_1 adalah tegangan awal pada kapasitor C_1 , w_1 dan w_2 adalah frekuensi resonansi dari rangkaian primer dan sekunder ketika terjadi gandingan. Karena konstrain fisika pada harga k dan T maka dijamin bahwa w_1 dan w_2 selalu riil, serta selalu diasumsikan $w_2 > w_1$

Vizimag suatu perangkat aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*finite element method*) yaitu suatu metode numerik untuk menyelesaikan persoalan fisika atau teknik tertentu. Vizimag didesain untuk memberikan visualiasi cepat garis medan magnetic dan densitas fluks magnet. Vizimag diciptakan dengan sasaran penciptaan model cepat dan intuitif yang memberikan perhitungan dan displai cepat dari garis medan dan densitas fluks magnet. Perangkat lunak aplikasi ini dapat diinstalasi pada Operating System Window ataupun Linux. Perangkat aplikasi ini sangat komunikatif sehingga pengguna dengan mudah membuat suatu model simulasi. Contoh tampilan layar hasil simulasi solenoid seperti ditunjukkan pada Gambar 2 yang menggambarkan garis gaya magnet pada solenoid dengan dimensi diameter 10 cm dan panjang 40

cm berada di udara yang dialiri arus 1 ampere.



Gambar 2: Tampilan layar Vizimag

Pada tampilan layar Vizimag terlihat pada bagian atas ada perintah (File, Edit, Clipboard, Text, Grid, View, Animation, Analyze, Tool, Ext Field, Help). Sedangkan pada bagian kanan layar ada 4 kelompok perintah yang merupakan pengganti perintah pada bagian atas kecuali Ext Field. Kelompok perintah I (*File, View, Analyze*) mewakili perintah pada bagian atas tampilan layar ditambah perintah FB (*flux density*), run garis gaya medan magnet (ikon mata), perhitungan induktansi (L), dan trafo analisis (*simbol trafo*). Kelompok perintah II (*Add magnetic region*) merupakan perintah untuk memodelkan bentuk bahan yang akan bersifat magnet lilitan berarus melingkupinya. Kelompok perintah III (merupakan perintah untuk memodelkan sumber fluks magnet baik magnet permanen ataupun magnet yang ditimbulkan akibat arus. Kelompok perintah IV (*Edit*) merupakan perintah terkait dengan *editing* suatu model simulasi yang akan direvisi baik dimensi ataupun parameter fisisnya. .

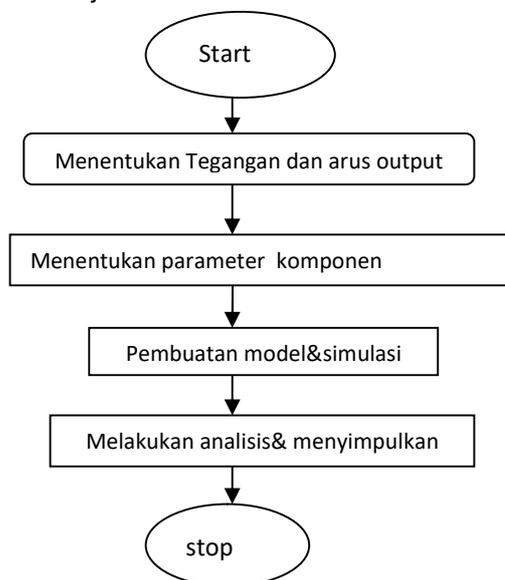
Pada Vizimag difasilitasi analisis trafo secara manual dan model, untuk mendapatkan hasil lebih akurat maka pertama dilakukan analisis trafo secara manual. Dengan modus manual bisa memasukkan parameter induktansi lilitan primer dan sekunder serta koefisiensi gandingan. Program ini sangat sederhana, mudah, cepat dan intuitif sehingga memungkinkan pengguna membuat model sesuai yang

dikehendaki. Pada Vizimag juga dilengkapi contoh model simulasi yang dapat dijumpai pada sub folder Vizimag yaitu Example

METODE

Langkah langkah yang harus dilakukan dalam mendesain Trafo Coreless adalah langkah awal dengan menentukan diagram aliran kerja, desain pemodelan dan penentuan parameter rangkaian Trafo Coreless, dan terakhir simulasi model trafo correless

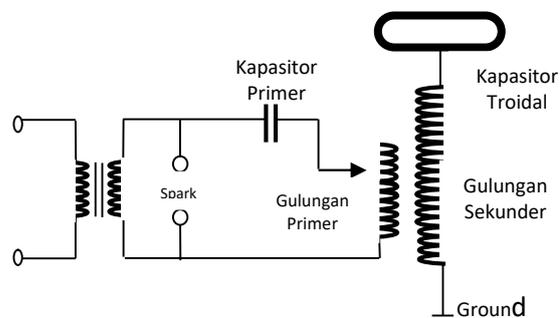
Langkah awal yaitu menentukan diagram alirkerja



Gambar 3 Diagram alir desain trafo

Langkah yang kedua Desain pemodelan dan penentuan parameter rangkaian Trafo Coreless. Sebelum dilakukan pembuatan rangkaian maka dilakukan pemodelan yaitu membuat model trafo tak berinti yang sesuai kebutuhan pengguna. Berdasarkan rumus jbaran sebelumnya maka nilai parameter yang akan di kontruksi sebagai berikut. Konstruksi Trafo Coreless memuat tiga bagian pokok yaitu: 1)Trafo berinti yang mensuplai tegangan (sebagai tegangan input bagian primer) yangberhubungan langsung dari PLN. 2).Spark gap, capasitor dan induktor/ gulungan primer berfungsi sebagai pembangkit pulsa dan frekuensi.

3).Kapasitor Troidal dan gulungan sekunder sebagai pembangkit tegangan output yang akan dimanfaatkan oleh user.



Gambar 4. Diagram rangkaian Trafo Coreless

Cara kerja dari Trafo coreless adalah menghasilkan output dengan frekuensi tinggi, yang disuplai dari sumber tegangan(PLN) dengan frekuensi rendah. Oleh karena itu perlu rangkaian RL/osilator agar dapat menghasilkan frekuensi. tinggi., selain itu diperlukan spark gap untuk menghasilkan pulsa. Disini harus dibuat pulsa karena trafo ini tanpa inti sehingga permiabilitasnya rendah akibatnya fluks magnet yang dihasilkan menjadi kecil dan GGI induksi yang dihasilkan juga kecil. Sedangkan untuk supaya dapat menghasilkan tegangan output yang tinggi maka dibutuhkan GGL Induksi yang tinggi yaitu dengan cara menaikkan frekuensinya, karena GGL Induksi $(e) = 1,44 \cdot N \cdot B \cdot f \cdot l$, dengan N= banyak lilitan, B= Kuat medan magnet yang dihasilkan, f = frekuensi.Untuk menaikkan frekuensi dengan mengatur nilai parameter L dan C dibagian primer. Parameter trafo coreless seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai parameter yang diinginkan.

PRIMER	SEKONDER
V input (tegangan primer) : 20.000 volt	Koefisien kopling: 28.400
frekuensi:140.000 Hz	mutual Induktan:
Resistan: 1.00 ohm	0.001 H
Banyak lilitan: 11	Banyak lilitan: 970
diameter solenoid: 50 cm	Resistan: 1.000 oh
tinggi solenoid: 30 cm	Tahanan beban: 10 ohm
	Diameter solenoid: 40 cm, Tinggi : 194

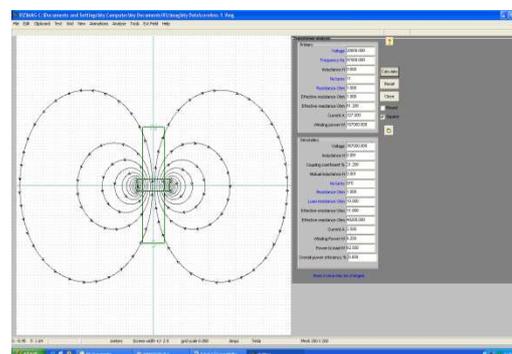
Langkah ketiga yaitu membuat simulasi model trafo coreless. Dalam melakukan simulasi menggunakan Vizimag perlu dilakukan beberapa langkah: pertama membuat model yang akan disimulasikan dengan menggunakan kelompok perintah II dan III. Pada kelompok perintah ini cukup memilih ikon yang ada sesuai dengan yang ingin dimodelkan kemudian letakkan kursor pada layar grid simulasi dan klik disekitar sumbu X (horizontal) dan Y (vertical) kemudian men-drag (menyeret kursor) sesuai kehendak. Suatu contoh dalam menghasilkan simulasi seperti pada Gambar 4. Pertama pilih *straight solenoid* pada kelompok perintah III, letakkan kursor pada layar grid simulasi kemudian seret kursor sesuai yang dikehendaki dan klik kemudian seret lagi kursor dan klik maka akan diperoleh bentuk empat persegi panjang yang merupakan solenoida trafo primer. Dengan cara yang sama buat solenoida trafo sekunder yang melingkupi solenoida primer. Kemudian ikuti perintah dengan mengisi parameter fisiknya dengan masukan dimensi penampang magnet sebagai inti trafo beserta permeabilitasnya, jumlah lilitan primer dan sekunder serta arus pada primer, resistansi primer dan sekunder, tahanan beban sekunder, frekuensi dan tegangan primer. Dalam hal ini parameter fisis diambil dari Tabel 1. Jika inputan dimensi dan parameter fisis dari yang dimodelkan tidak sesuai dengan yang diinginkan lakukan *editing* menggunakan kelompok perintah IV. Informasi semua perintah pada ikon dapat diketahui dengan menahan kursor pada ikon yang dikehendaki maka akan muncul nama perintah. Selanjutnya untuk mengetahui garis gaya magnet dari suatu model maka lakukan *analyze* (ikon mata) pada kelompok perintah I. Proses selanjutnya lakukan analisis trafo dengan meng-klik ikon trafo dan ikuti perintah maka akan diperoleh hasil simulasi seperti pada Gambar 5.

Pada Vizimag difasilitasi analisis trafo secara manual dan model, untuk mendapatkan hasil lebih akurat maka pertama dilakukan analisis trafo secara model kemudian dilakukan analisis trafo secara manual. Dengan modus manual

bisa memasukan parameter induktansi lilitan primer dan sekunder serta koefisien gandengan.

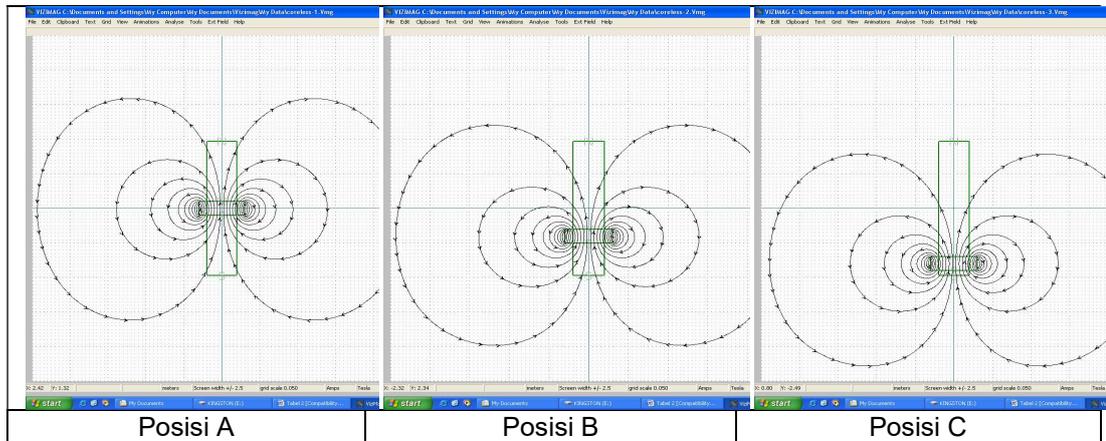
PEMBAHASAN

Program Vizimag tidak hanya menghasilkan tegangan input output tetapi juga memberikan informasi efisiensi daya, daya ke beban (*power to load*), daya lilitan (*winding power*), reaktansi dan resistansi efektif, induktansi, induktansi saling (*mutual inductance*), koefisien gandengan (*coupling coefficient*) serta kontur densitas fluks magnet. Pada Gambar 5 merupakan contoh hasil simulasi Trafo coreless dengan lilitan primer berada di tengah-tengah lilitan sekunder. Untuk mendapatkan hasil desain yang optimal maka dilakukan simulasi posisi lilitan primer pada lilitan sekunder. dalam penelitian ini dilakukan variasi 3 posisi penempatan lilitan primer dalam lilitan sekunder yaitu pada posisi sb $Y=0$, sb $y = -50$ dan sb $y=-97$. Hasil simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar: 5 Hasil simulasi menggunakan VIZIMAG

Dari hasil simulasi pada frekuensi, tegangan input, dan jumlah lilitan yang tetap menunjukkan bahwa pada penempatan posisi sb $y=0$ menghasilkan tegangan output terbesar. Hal ini disebabkan medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida primer dapat melingkupi solenoida sekunder lebih banyak dibandingkan pada posisi lainnya sehingga transfer energi dari primer ke sekunder lebih besar dengan konsekuensi menghasilkan tegangan output yang lebih besar.



Gambar.6 .Hasil simulasi Vizimag variasi posisi solenoid primer terhadap sumbu Y coreless transformer

Tabel 2: Ringkasan hasil simulasi analisis trafo pengaruh posisi lilitan primer trafo terhadap luaran sekunder menggunakan Vizimag

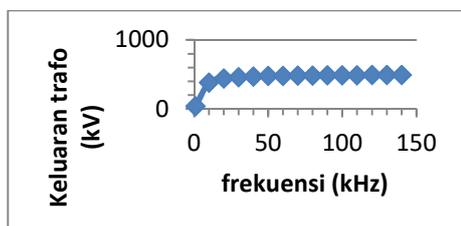
No	Masukan trafo untuk lilitan primer pada posisi A,B,C		Luaran sekunder trafo			
			Posisi A	Posisi B	Posisi C	
1	Parameter trafo	Nilai	Parameter trafo	Nilai	Nilai	Nilai
2	Tegangan(V)	20k	Tegangan (V)	3,67E5	3,52E5	2,69E5
3	Frekuensi(Hz)	97k	Induktansi (H)	8,07E-2	8,1E-2	8,1E-2
4	Induktansi(H)	1.05E-4	Koefisien gandengan (%)	21,2	20,3	15,5
5	Jumlah lilitan	11	Mutual inductance (H)	6,17E-4	1E-3	0
6	Tahanan(Ω)	1	Jumlah lilitan	970	970	970
7	Tahanan efektif (Ω)	1	Tahanan (Ω)	1	1	1
8	Reaktan efektif Ω	61,2	Tahanan beban (Ω)	10	10	10
9	Arus (A)	327	Tahanan efektif (Ω)	11	11	11
10	Daya belitan (W)	1,07E5	Reaktan efektif (Ω)	4,92E4	4,92E4	4,92E4
			Arus (A)	2,5	2,4	1,87
			Daya belitan (W)	6,25	5,6	3,51
			Daya ke beban (W)	62,5	56,8	35,1
			Efisiensi daya total(%)	5,84E-2	5,4E-2	2,9E-2

Posisi A; sb-y=0, Posisi B;sb-y=-50cm, Posisi C; sb-y=-90cm

Selain itu juga memberikan informasi koefisien gandengan dan koefisien daya total yang lebih besar dibandingkan dengan posisi sb y yang lainnya seperti terlihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 2 selanjutnya dilakukan simulasi pengaruh frekuensi terhadap output tegangan sekunder trafo coreless. Untuk mempelajari seberapa besar pengaruh

frekuensi Trafo coreless terhadap parameter utama trafo seperti tegangan output sekunder, koefisien gandengan dan koefisien daya total maka dilakukan simulasi variasi frekuensi pada parameter trafo primer yang tetap. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh frekuensi trafo tanpa inti terhadap keluran trafo

Pada gambar terlihat bahwa frekuensi sangat berpengaruh terhadap tegangan output sekunder. Hal ini sesuai dengan yang diamati oleh Arshak K.I., dan Al.Muhtar,B (1999). Makin besar frekuensi makin besar pula tegangan

output sekunder sampai batas tertentu kemudian mencapai jenuh. Ringkasan hasil simulasi pengaruh frekuensi terhadap tegangan output sekunder seperti terlihat pada Tabel 3 di lampiran I. Dari gambar 7 terlihat bahwa ada syarat minimum frekuensi agar Trafo coreless dapat berfungsi optimal.

Pada frekuensi 1 kHz hanya menghasilkan tegangan output sebesar 37,8 kV dan tegangan input 20 kV, artinya hanya menghasilkan faktor pelipatan 1,39 kali. Dengan menaikkan frekuensi 10 kHz menghasilkan faktor pelipatan 19 kali namun belum optimal. Frekuensi optimal adalah yang menghasilkan faktor pelipatan terbesar adalah diatas 90 kHz.

Tabel 3: Hasil simulasi pengaruh frekuensi terhadap parameter output sekunder trafo coreless

Parameter trafo	Variabel trafo, frekuensi dalam kHz														
	Primer	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
		Sekunder													
Tegangan (V)	20k	37.2k	381k	440k	460k	470k	476k	480k	483k	485k	487k	488k	489k	490k	491k
Induktansi(H)	0	0,001	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,08	0,081	0,081	0,081	0,081
Jumlah lilitan	11	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Tahanan (Ω)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tahanan efektif (Ω)	1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Reaktan efektif Ω	8,16	506	5060	10100	15200	20300	25300	30400	35400	40500	45600	50600	55700	60800	65800
Arus (A)	2430	155	40	20,4	13,7	10,3	8,23	6,86	5,88	5,15	4,57	4,12	3,74	3,43	3,17
Daya belitan (W)	5,9E6	24200	1600	418	187	106	67,7	47	34,6	26,5	20,9	17	14	11,8	10
Koefisien gandengan (%)	-	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4
Induktansi saling(H)	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Tahanan beban (Ω)	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Daya ke beban (W)	-	242000	16000	4180	1870	1060	677	470	346	265	209	170	140	118	100
Efisiensi daya total(%)	-	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071

KESIMPULAN

Penggunaan VIZIMAG dapat membantu dalam proses desain untuk mendapatkan hasil desain yang prima. Selain itu dengan VIZIMAC dapat digunakan untuk mengamati pengaruh parameter terhadap hasil keluaran trafo. Dari hasil simulasi menunjukkan pada Trafo coreless akan memperoleh hasil yang optimum maka harus diperhatikan penempatan posisi lilitan primer dan besarnya frekuensi trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto M.Pernia, et.all., (2007), "Transcutaneous microwave activation system using coreless transformer", Sensor and Actuator A:Physical, volume 136,issue 1, May ,pages 301-320
- Alshak, K.I and Almuhtar, B (1999) ,"Development of high frequency coreless transformer using thick film polymer technology", Microelectronic Journal, volume 30,

- issue 2, February 1999, pages 119-125
- Denicolai Marco, (2001). *Tesla Transformer for Experimentation and Research*. Espoossa : Electrical and Communications Engineering.
- Johnson. L.(1992), “*Tesla Coil Impedance*”, Electrical and Computer Engineering Department: Kansas State University
- Nasser D Tleis, (2008), “Modeling of transformer, static power plant and static load”, *Journal of Power System Modeling and Fault Analysis*, pages 200-300
- Roger A.Freedman dan Young (2003), *University Physics*, Mc Graw Hill, USA
- T. C. Martin. (1977), *The Inventions, Researches and Writings of Nikola Tesla*, Omni Publications: Hawthorne, California.