

# Jurnal Teknologi **TECHNOSCIENTIA**

Vol. 11 No. 1 Agustus 2018



## SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Dr. Ir. Sudarsono, M.T.  
Ketua Penyunting : Dr. Edhy Sutanta, S.T., M.Kom.  
Sekretaris Penyunting : Safriyudin, S.T., M.T.  
Bendahara : Ari Santoso, S.T.

Reviewer :

1. Ellyawan Setyo Arbintarso, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. Sudarsono, M.T.
3. Dr. Ir. Amir Hamzah, M.T.
4. Dr. Ir. Hj. Titin Isna Oesman, M.M.
5. Dr. Sri Mulyaningsih, S.T., M.T.

Peer Reviewer :

1. Dr. Bambang Sugiantoro, M.T. (UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta)
2. Dr. Darwan, S.Kom., M.Kom. (IAIN Syekh Nurjati Cirebon)
3. Dr. Hermawan Syahputra, S.Si., M.Si. (Universitas Negeri Medan)
4. Dr. Heri Setiawan, S.Kom., M.Kom. (Univ. Indo Global Mandiri Palembang)
5. Dr. I Gede Aris Gunadi, S.Si. M.Kom. (Univ. Pendidikan Ganesha Singaraja)
6. Dr. Ir. Muhammad Hasbi, M.Kom. (STMIK Sinar Nusantara Surakarta)
7. Dr. Jumi, S.Kom., M.Kom. (Politeknik Negeri Semarang)
8. Dr. Sri Andayani, S.Si., M.Kom. (Universitas Negeri Yogyakarta)
9. Dr. Wijang Widhiarso, S.Kom., M.Kom. (STMIK MDP Palembang)

Dewan Redaksi :

1. Rokhana Dwi Becti, S.Si., M.Si.
2. Rosalia Arum Kumalasanti, S.T., M.T.
3. Dra. Yui Pratiwi., M.Si.
4. Muhammad Andang Novianta, S.T., M.T.
5. Joko Triyono, S.Kom., M.Cs.

Redaksi Pelaksana :

1. Aji Pranoto, S.Pd., M.Pd.
2. Dra. Suprih Ambawani, M.Pd.
3. Erna Kumalasari Nurnawati, S.T., M.T.
4. Blana Radetyana, S.Kom.I.

## DAFTAR ISI

<b>Karakterisasi Mineral Zeolit Kecamatan Gedangsari dan Sekitarnya, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta</b> Rinaldy Mesakh Kase	Hal: 1-6
<b>Preparasi dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Menggunakan Metode Kopresipitasi</b> Ani Santi Lestari, Dewi Sartika	7-10
<b>Analisis Kekuatan Massa Batuan Andesit Menggunakan Kaidah Kriteria Keruntuhan <i>Hoek-Brown</i> untuk Mengetahui Nilai Faktor Keamanan Lereng Pada Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY</b> Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi, Dina Tania	11-20
<b>Geomorfologi dan Morfometri Daerah Aliran Sungai (DAS) Tinalah di Kabupaten Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta</b> Septian Vienastra	21-28
<b>Otomatisasi Sirkulasi Air pada Instalasi Aquaponik dengan Panel Surya (<i>Solar Cell</i>) Sebagai Sumber Energi Alternatif</b> Fifin Hindarti	29-38
<b>Purifikasi Biogas Menggunakan Pelet Sekam Padi Teraktivasi untuk Meningkatkan Konsentrasi CH<sub>4</sub> dalam Biogas</b> Rosiana Indrawati, Joko Susilo	39-46
<b>Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan dengan Sistem Kombinasi <i>Presipitasi-Aerobic Biofilter</i></b> Purnawan, Angge Dhevi Warisaura, Agnes Setyaningrum	47-53
<b>Desain dan Implementasi Sistem <i>Monitoring</i> Tegangan dan Arus Motor Induksi Tiga <i>Phase</i> Menggunakan Konsep <i>Internet of Things (IOT)</i></b> Heru Susanto, Agus Nurcahyo	54-63
<b>Metode <i>Generalized Space-Time Autoregressive</i> untuk Peramalan Pertumbuhan Ekonomi Di Kawasan Timur Indonesia</b> Rokhana Dwi Bekti, Noviana Pratiwi, Petronella Mira Melati	64-76
<b>Aplikasi Kontrol Lampu Rumah Berbasis Smartphone Android untuk Mendukung Smarhome</b> Erfanti Fatkhiyah, Muntaha Nega, Uning Lestari	77-84
<b>Analisis Hubungan Aktivitas Kendaraan Bermotor Terhadap Konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di Udara Ambien (Studi Kasus: Jl. Panembahan Senopati Yogyakarta)</b> Sri Hastutiningrum, Sri Sunarsih, Imelda	85-94
<b>Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Kelayakan Proposal Penelitian Dosen Menggunakan Metode TOPSIS dan SAW</b> Renna Yanwsatika Ariyana	95-105

**KARAKTERISASI MINERAL ZEOLIT KECAMATAN GEDANGSARI  
DAN SEKITARNYA, KABUPATEN GUNUNGKIDUL,  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

**Rinaldy Mesakh Kase<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada  
Email: nakesaja@gmail.com

Masuk: 10 Juni 2018, Revisi masuk: 25 Juni 2018, Diterima: 1 Juli 2018

**ABSTRACT**

*Zeolite is a group of aluminosilicate mineral with several type of minerals as its member. Type of this zeolite mineral influenced the efficiency and effectiveness of its utilization. That thing also matter to group of zeolite mineral which is spread within Tegalrejo and the sorrounded area of Gedangsari Subdistrict, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region. Physical characterization of zeolite mineral including its physically appearance, crystallography and mineralogy. This physical characterization determined by several analysis including petrographic, XRD, and SEM analysis. Petrographic analysis done to understand texture and the group of mineral which is composed the sample, which is: tuffaceous mudstone, sandy tuff and tuffaceous sandstone. XRD and SEM analysis done to understand typical of mineral which composed the sample, in this case: mordenite and clinoptilolite type of zeolite; smectite; K-feldspar; plagioclase; and quartz. The result shows that type of zeolite minerals which occupied the sampling area were mordenite and clinoptilolite that distributed apportionment within the sample.*

**Keywords:** *Clinoptilolite, Kebo-Butak Formation, Mordenite, Zeolite characterization.*

**INTISARI**

Zeolit merupakan kelompok mineral alumino silikat beranggotakan beberapa jenis mineralnya. Jenis mineral zeolit berpengaruh terhadap penggunaannya yang bersifat tepat guna dan berkelanjutan. Hal tersebut juga berlaku untuk zeolit yang tersebar di daerah Tegalrejo dan sekitarnya, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Karakteristik fisik zeolit meliputi kenampakan fisiknya, kristalografi dan mineraloginya. Penentuan karakteristik zeolit ini kemudian dilakukan melalui beberapa analisis yaitu petrografi, XRD dan SEM. Analisis petrografi dilakukan untuk mengetahui tekstur dan kelompok mineral penyusun batuan, dalam hal ini *tuffaceous mudstone, sandy tuff* dan *tuffaceous sandstone*. Analisis XRD dan SEM dilakukan untuk mengetahui jenis mineral penyusun batuan, antara lain: zeolit jenis mordenit dan klinoptilolit; smektit; K-feldpsar; plagioklas; dan kuarsa. Hasil analisis menyimpulkan bahwa jenis zeolit yang tersebar di daerah pengambilan sampel merupakan zeolit jenis mordenit dan klinoptilolit yang tersebar hampir merata pada sampel.

**Kata-kata kunci:** Karakterisasi zeolit, Mordenit, Klinoptilolit, Formasi Kebo-Butak.

**PENDAHULUAN**

Mineral zeolit yang tersebar dalam jumlah besar di daerah Tegalrejo dan sekitarnya, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jumlah yang besar ini mengakibatkan pemanfaatannya menjadi kurang tepat guna karena tidak

dikarakterisasikan dengan baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis mineral zeolit yang tersebar pada daerah dimaksud, sehingga pemanfaatannya ke depan dapat bersifat lebih tepat guna dan berkelanjutan. Sampel litologi yang diperkirakan mengandung kadar zeolit diambil,

kemudian dilakukan analisis petrografi, XRD, dan SEM untuk mengetahui jenis serta karakteristik mineral zeolit dimaksud. Sampel zeolit yang diambil terdapat pada Formasi Kebo-Butak yang berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Surono dik., 1992).

Zeolit di Kabupaten Gunungkidul termasuk dalam formasi Semilir yang posisinya di atas formasi Kebobutak dan di bawah formasi Sambipitu yang penyebarannya dari utara Nglanggran hingga barat Eromoko-Wonoboyo. Umur formasi ini antara Miosen Awal hingga Miosen Tengah (18-22 juta tahun yang lalu), bagian atasnya merupakan endapan laut dalam dengan arus turbid dan bagian bawahnya endapan laut dangkal dengan arus kuat. Material zeolit ditambang pada beberapa lokasi seperti Pacebe, Jambon dan Jaten pada Desa Hargomulyo, Kecamatan Gedangsari yang jaraknya kurang lebih 35 km dari Kota Yogyakarta. Luas formasi Semilir mencapai 21.540 hektar, dengan ketebalan zeolit antara 0,25 sampai 1,5 meter maka volumenya diperkirakan antara 53,85 juta m<sup>3</sup> sampai 323,10 juta m<sup>3</sup>. Sehingga apabila berat jenis zeolit adalah 3 ton/m<sup>3</sup>, maka berat total zeolit antara 17,95 ton sampai 107,7 ton atau rata-rata 62,825 ton. Dip formasi Semilir tidak horisontal, lebih dari 45°, sehingga proses penambangan akan lebih sulit dan mahal (Sunarminto dkk., 2005).

Karakteristik fisik zeolit pada lokasi pengambilan sampel dibedakan menjadi warna hijau keputih-putihan dengan ukuran butir lanau-pasir sedang, warna hijau tua dengan ukuran butir pasir halus, warna hijau kecokelatan dengan ukuran butir lanau dan warna coklat keputih-putihan dengan ukuran butir pasir sedang. Nilai kapasitas pertukaran kation (KPK) berkisar antara 37,80-78,60 meq yang termasuk kategori kualitas sedang dan nilai KPK terbaik dimiliki oleh zeolit yang berwarna hijau keputih-putihan dengan ukuran butir lanau-pasir halus.

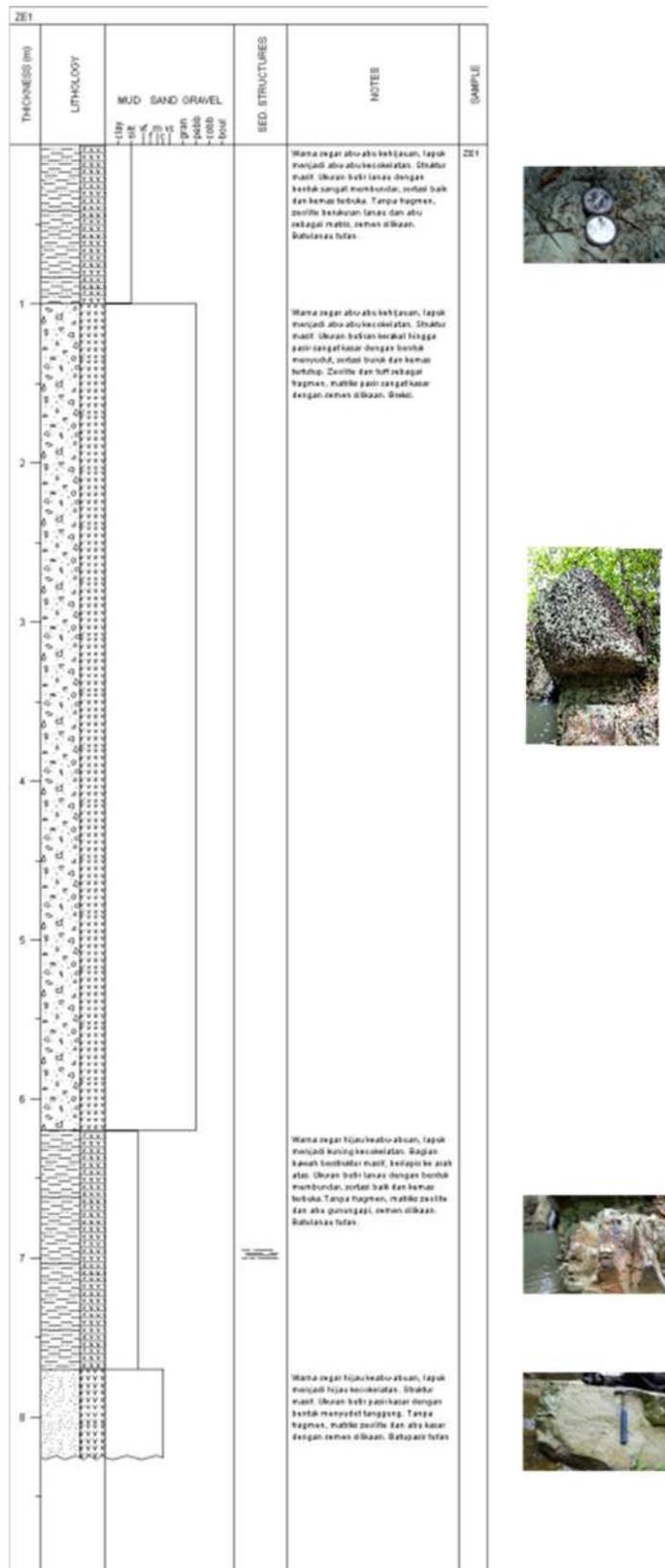
Penelitian yang dilakukan melalui XRD, SEM, dan XRF (rasio Si/Al) ini menunjukkan jenis zeolit di daerah penelitian merupakan klinoptilolit dengan rasio Si/Al berkisar antara 4,5-5,25 dengan asosiasi mineral smektit, plagioklas dan kuarsa. Berdasarkan kondisi geologi, kemungkinan zeolit ini terbentuk karena proses diagenetis, yaitu pembebanan sedimen yang cukup tebal (burial process), sehingga disarankan untuk menggunakan zeolit yang memiliki nilai KPK paling baik (Fatkhindari, 2011).

Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Gunungkidul tahun 2008 menyatakan bahwa zeolit di Kabupaten Gunungkidul memiliki potensi sebesar 60.104.372 m<sup>3</sup> dan yang telah ditambang sebesar 150.000 m<sup>3</sup>, sehingga tersisa potensi cadangan sebesar 59.954.372 m<sup>3</sup>. Penelitian yang dilakukan dengan metode analisa proses hierarki melalui 7 (tujuh) kriteria dan 5 (lima) alternatif strategi menyimpulkan bahwa daerah Tegalrejo dan sekitarnya yang termasuk wilayah Kecamatan Gedangsari sebagian besar termasuk zona layak tambang dan layak tambang bersyarat (Kholil, 2012).

## **PEMBAHASAN**

### **Karakteristik Fisik**

Sampel zeolit yang diambil dari lapangan memiliki karakteristik atau kenampakan berwarna abu-abu kehijauan yang apabila lapuk menjadi abu-abu kecokelatan, struktur masif, berukuran butir lanau dengan bentuk sangat membundar, tersortasi baik dan kemasnya terbuka. Tanpa fragmen, zeolit berukuran lanau dan abu gunungapi sebagai matriks, semen silikan, dengan penamaan di lapangan Batulanau tufan. Data perlapisan batuan di lokasi pengambilan sampel kemudian dibentuk dalam kolom stratigrafi yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kolom stratigrafi pada lokasi pengambilan sampel zeolit untuk dikarakterisasi

### Analisis Petrografi

Kenampakan nikol silang sayatan tipis terhadap sampel yang telah diambil dari lapangan (Gambar 2) menunjukkan bahwa sampel merupakan batuan sedimen-piroklastik (epiklastik) dengan tekstur cenderung *mud supported*, dan kelompok mineral penyusun berupa plagioklas, kuarsa, abu gunungapi, serta mineral berukuran pasir halus sampai lempung. Zeolit yang menjadi tujuan pengamatan termasuk kedalam ukuran butiran pasir halus sampai lempung.



Gambar 2. Kenampakan nikol silang sampel batulanau taufan

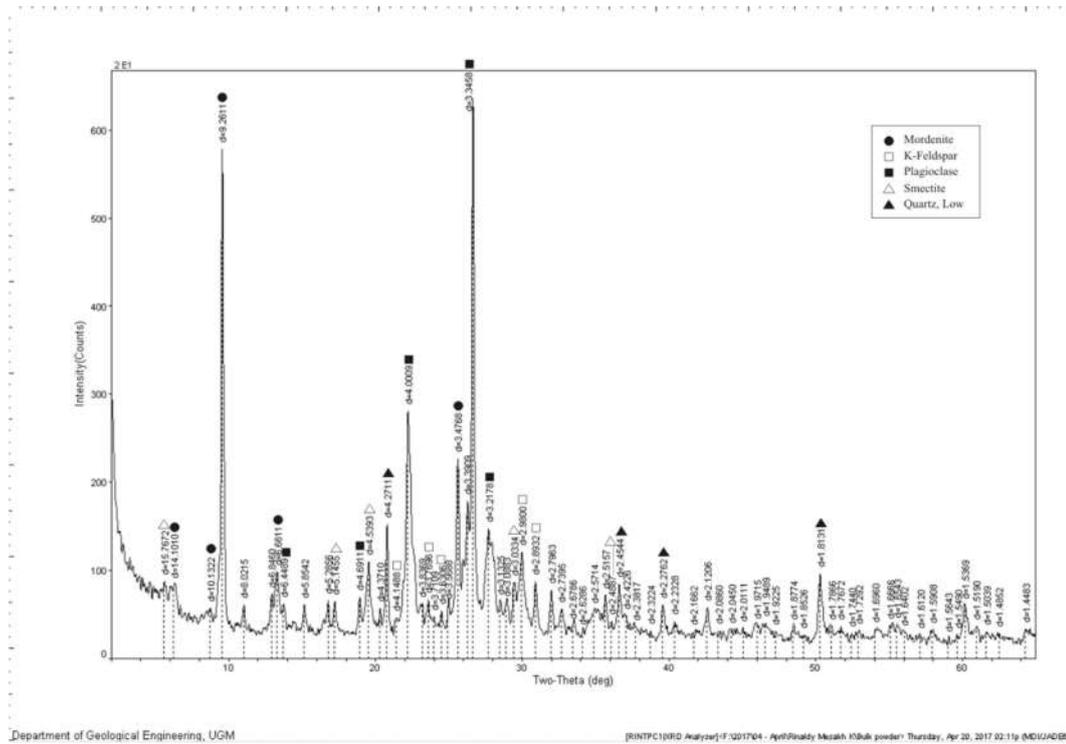
### Analisis XRD

Analisis XRD terhadap sampel (Gambar 3) menunjukkan nilai plagioklas memiliki intensitas yang paling tinggi, disusul oleh zeolit berupa mordenit, k-feldspar, mineral lempung berupa smektit dan kuarsa. Klinoptilolit

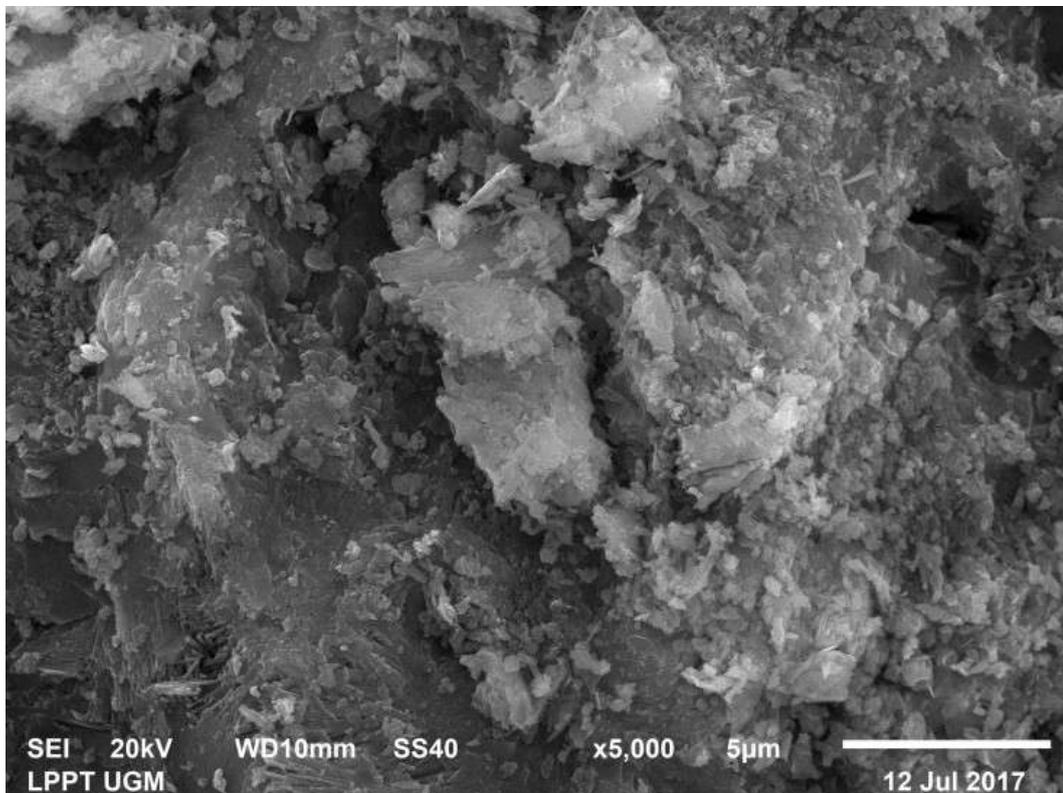
teridentifikasi dalam jumlah intensitas yang tidak begitu melimpah pada sampel ini, namun mordenit memiliki intensitas yang paling tinggi dibanding pada sampel lainnya.

### Analisis SEM

Analisis SEM terhadap sampel (Gambar 4) menunjukkan bahwa komposisi mineral yang tidak berbeda jauh dengan hasil analisis XRD. Mordenit terdapat dalam bentuk menjarum yang berkumpul dan memusat, hadir mengisi pori dengan ukuran setiap seratnya sangat tipis yaitu  $<1\mu\text{m}$  dengan panjang yang bervariasi mencapai  $10\mu\text{m}$ . Klinoptilolit menunjukkan bentuk tabular tipis  $<1\mu\text{m}$  dan panjang bervariasi mencapai  $5\mu\text{m}$  cenderung mengumpul dan berada dekat dengan mordenit. Smektit memperlihatkan bentuk menyerupai lapisan tipis yang terjalin dengan ukuran panjang yang bervariasi mencapai  $15\mu\text{m}$ , keterdapatannya terkadang pada permukaan bersama dengan butiran kuarsa yang diselimuti dan terkadang bersama zeolit mengisi pori pada permukaan mineral lain. K-feldspar memperlihatkan bentuk blok dengan ukuran bervariasi, berbentuk *rhombic* dengan ukuran  $1-2\mu\text{m}$  dengan kontras yang lebih cerah yang membedakannya dari plagioklas yang lebih gelap. Plagioklas dengan bentuk blok beralur dan kontras yang lebih gelap dibanding k-feldspar. Kuarsa jenis *low quartz* dengan bentuk sedikit membundar yang hadir bersama dengan smektit, kadang terlihat kuarsa seolah diselimuti oleh smektit.



Gambar 3. Grafik analisis XRD terhadap sampel batulanau taufan (dianalisis berdasarkan Chen, 1977)



Gambar 4. Hasil SEM terhadap sampel batulanau taufan (dianalisis berdasarkan Welton, 1984)

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada sampel maka dapat dikatakan bahwa sampel tersusun oleh jumlah zeolit dengan jenis mordenit dan klinoptilolit dengan asosiasi mineral smektit, kuarsa, plagioklas dan K-feldspar. Jenis mordenit memiliki jumlah intensitas paling besar yang hadir di dalam sampel memungkinkan sampel dapat dimanfaatkan untuk pertukaran kation logam. Pemanfaatan ini dapat dilakukan terhadap kation logam yang terdapat baik pada tanah maupun pada air. Jumlah intensitas yang besar ini memungkinkan untuk pemanfaatan zeolit di daerah pengambilan sampel dalam jumlah yang sebanding terhadap kation logam yang akan dikurangi nilainya. Penelitian lebih lanjut terhadap pertukaran kation logam menjadi hal yang perlu dilakukan sehingga mampu menggambarkan pemanfaatan zeolit yang tepat guna dan berkelanjutan sesuai dengan jenis zeolitnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chen, P. Y., 1977, *Table of Key Lines in X-Ray Diffraction Patterns of Mineral in Clays and Associated Rocks*, Indiana: Department of Natural Resources.
- Fatkhiandari, I. A., 2011, Studi Karakterisasi dan Genesa Zeolit Desa Tegalrejo, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, *Tugas Akhir*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kholil, 2012, Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) untuk Menetapkan Strategi Pengendalian Eksploitasi Galian Non Logam di Gunungkidul, *Seminar Ilmiah Nasional 8: Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia*, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sunarminto, B. H., Syukur, A., Hanudin, E., dan Nurudin, M., 2005, Potency of Zeolite from Gedangsari Area Gunungkidul Jogjakarta for Enhancing Soil Fertility, *Seminar Nasional: Natural Aluminosilicate Minerals Studies on Chemical Properties*,

*Modification and Its Application for Agricultural and Environment*, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Surono, T. B. dan Sudarno, I., 1992, *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintoro Skala 1:25.000*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Welton, J. E., 1984, *SEM Petrology Atlas*, Tulsa U.S.A.: The American Association of Petroleum Geologists.

## BIODATA PENULIS

**Rinaldy Mesakh Kase, S.T.**, lahir di SoE, Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur pada tanggal 25 September 1990, menyelesaikan pendidikan S1 dari Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta tahun 2014 pada bidang Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Geologi, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dengan konsentrasi studi geologi lingkungan.

## PREPARASI DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL $Fe_3O_4$ MENGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI

Ani Santi Lestari<sup>1</sup>, Dewi Sartika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas PGRI Banyuwangi

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi

Email: <sup>1</sup>anisanti72@gmail.com, <sup>2</sup>dewisartika@unibabwi.ac.id

Masuk: 10 Juni 2018, Revisi masuk: 25 Juni 2018, Diterima: 1 Juli 2018

### ABSTRACT

*Nanoparticles is a material or particle which nanometers size. It has done research making nanoparticles  $Fe_3O_4$  with kopresipitation methods then characterization XRD and TEM to knowing the characteristic and particles size of sample. The result of characterization XRD detected by appearing the peaks diffraction an angle of 30; 35,4; 43; 53,4; 56,9; and 62,5. The result of TEM characterization is 13,68 nm and 14,33 nm of particles size.*

**Keywords:** Coprecipitation, Nanoparticles, TEM, XRD.

### INTISARI

Nanopartikel merupakan suatu material atau partikel yang berukuran nanometer. Telah dilakukan penelitian pembuatan nanopartikel  $Fe_3O_4$  dengan menggunakan metode kopresipitasi yang selanjutnya di karakterisasi dengan XRD dan TEM untuk mengetahui karakteristik dan ukuran partikel pada sampel. Hasil karakterisasi XRD diketahui dengan munculnya puncak-puncak difraksi pada sudut 30; 35,4; 43; 53,4 ; 56,9 ; dan 62,5. Hasil karakterisasi TEM didapatkan ukuran partikel  $Fe_3O_4$  sebesar 13,68 nm dan 14,33 nm.

**Kata-kata kunci:** Kopresipitasi, Nanopartikel, TEM, XRD.

### PENDAHULUAN

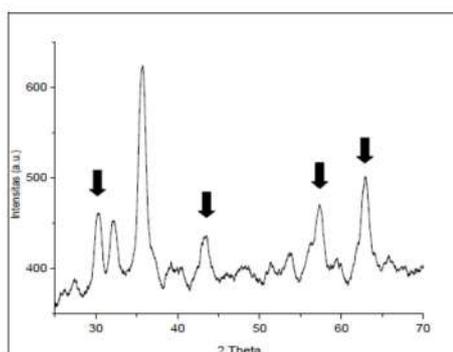
Nanopartikel magnetik telah lama dipelajari lebih dari setengah abad yang lalu baik secara eksperimen maupun teori (Sun, 2007). Salah satu nanopartikel magnetik yang sering digunakan yaitu  $Fe_3O_4$  karena sifat magnetik nya yang kuat sehingga permukaan magnetik nya bersifat reaktif dan memiliki luas permukaan yang besar.

Preparasi sampel  $Fe_3O_4$  dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi merupakan metode yang sering digunakan untuk mensintesis nanopartikel magnetik dari larutan garam dengan menambahkan basa dibawah atmosfer inert pada suhu kamar atau pada suhu tinggi (Faraji *et al.*, 2010). Metode kopresipitasi ini dipilih karena lebih ekonomis, efisien dan merupakan metode yang paling sederhana (Yuliani *et al.* 2013).

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dari  $Fe_3O_4$  yang telah disintesis. Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X yang terdifraksi, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan munculnya berbagai sudut yang timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakterisasi dari sampel (Krisnawan, 2009).

Komponen utama pada alat XRD yaitu sumber sinar-X, material uji (sampel) dan detektor. Sumber sinar-X yang terdapat pada tabung sinar-X akan terjadi tumbukan antara tegangan tinggi yang bertujuan untuk mempercepat elektron dengan logam target sehingga menghasilkan panjang gelombang antara 0,1 sampai  $100 \times 10^{-10}$  m. Pada material uji harus dalam bentuk padatan halus (bubuk). Detektor berfungsi sebagai pendeteksi sudut sinar-X yang telah direfleksikan pada material uji (Krisnawan, 2009).

Sampel tersebut bisa dinyatakan terbentuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berdasarkan hasil penelitian sebelumnya. Indikasi terbentuknya fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  diperkuat dengan munculnya puncak difraksi pada indeks miller (220), (400), (511), dan (440). Puncak difraksi dengan indeks miller tersebut merupakan salah satu indeks khas dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , seperti tampak pada Gambar 1 (Hui, 2008).



Gambar 1. Hasil XRD  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Hui, 2008)

Karakterisasi TEM digunakan untuk menentukan ukuran partikel. Partikel yang berukuran nanometer dapat diamati dengan jelas menggunakan alat ini. Bahkan dapat mengamati posisi atom-atom dalam partikel karena resolusinya yang tinggi (Abdullah dan Khairurrijal, 2008). Prinsip kerja dari alat ini yaitu dengan menembakkan elektron ke lapisan tipis sampel, selanjutnya komposisi struktur dalam sampel terdeteksi dari analisis sifat tumbukan, pantulan, maupun fase sinar elektron yang menembus lapisan tipis tersebut (Krisnawan, 2009).

#### PEMBAHASAN

Sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 1 dibuat dengan cara melarutkan 4,170 gram  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan 8,109 gram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam 30 ml aquades. Larutan tersebut ditambahkan dengan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% sebanyak 60 ml dan dilakukan pengadukan diatas magnetic stirrer pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 90 menit. Selanjutnya dilakukan proses pencucian dengan menggunakan aquades hingga bau  $\text{NH}_4\text{OH}$  hilang dan diendapkan dengan menggunakan magnet permanen untuk mempercepat proses dekantasi.

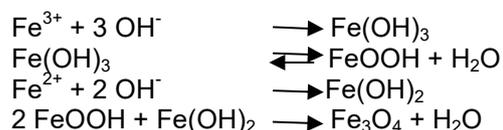
Hasil endapan tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan dengan oven pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 2 jam.

Proses sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 2 dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan cara melarutkan 4,170 gram  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan 8,109 gram  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam 30 ml aquades. Larutan tersebut ditambahkan dengan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  10% sebanyak 60 ml dan dilakukan pengadukan diatas magnetic stirrer pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 150 menit. Selanjutnya dilakukan proses pencucian dengan menggunakan aquades hingga bau  $\text{NH}_4\text{OH}$  hilang dan diendapkan dengan menggunakan magnet permanen untuk mempercepat proses dekantasi. Hasil endapan tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan dengan oven pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Hasil produk dari sintesis nanopartikel berwarna hitam pekat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

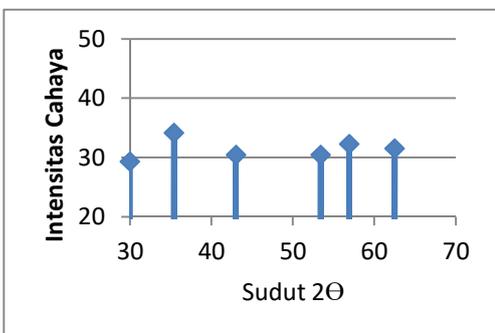
Reaksi pembentukan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  secara kopresipitasi dijabarkan sebagai berikut (Sun *et al.*, 2006):



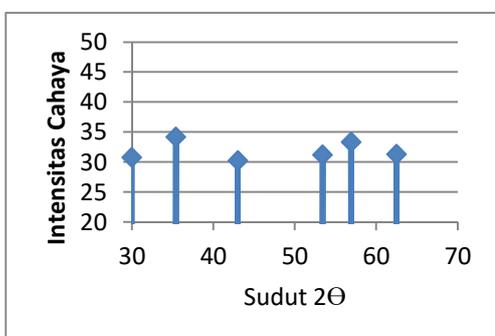
Pada proses kopresipitasi dengan melarutkan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam aquades menghasilkan larutan yang mengandung ion-ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ . Sedangkan air yang terdapat pada larutan terhidrolisis menjadi  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Ion  $\text{Fe}^{3+}$  berikatan dengan gugus

hidroksil membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  terhidrolisis menjadi  $\text{FeOOH}$  yang ditandai adanya warna coklat kemerahan pada larutan. Ion  $\text{Fe}^{2+}$  berikatan dengan gugus hidroksil membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Selanjutnya  $\text{FeOOH}$  dan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  bereaksi membentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang ditandai dengan berubahnya warna larutan menjadi hitam pekat.

Sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang telah dibuat kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD untuk membuktikan bahwa sampel tersebut terbentuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan microsoft excel. Gambar 3 dan 4 menunjukkan indikasi terbentuknya fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 1 dan 2. Indikasi tersebut berdasarkan nilai parameter ke kisi dari sudut  $2\theta = 30 ; 35,4 ; 43 ; 53,4 ; 56,9$  dan  $62,5$  yang diperkuat dengan munculnya beberapa puncak difraksi dengan indeks miller (220), (311), (400), (422), (511) dan (440). Puncak difraksi dengan indeks miller tersebut merupakan indeks khas dari struktur  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Hui, 2008).

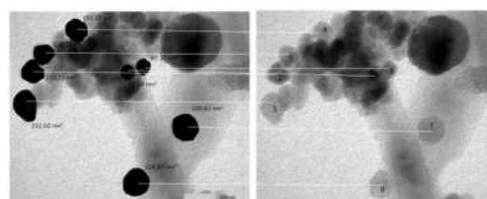


Gambar 3. Nilai puncak berdasarkan sudut  $2\theta$  pada sampel 1

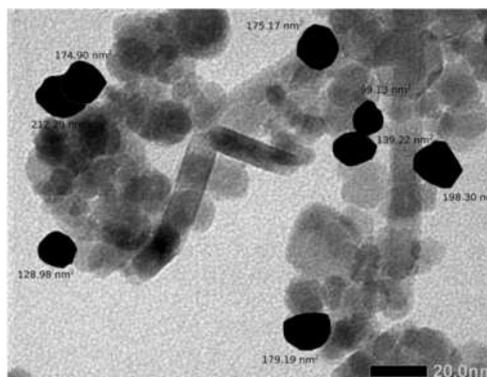


Gambar 4. Nilai puncak berdasarkan sudut  $2\theta$  pada sampel 2

Karakterisasi TEM digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dari sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Ukuran partikel yang diperoleh dengan mengukur diameter masing-masing butir dapat dilihat pada gambar 5 dan 6. Hasil analisis pola TEM diolah menggunakan microsoft excel dan diperoleh ukuran partikel sebesar 13,68 nm pada sampel 1 dan 14,33 nm pada sampel 2. Gambar 5 menampilkan hasil TEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 1, sedangkan Gambar 6 menampilkan hasil TEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 1.



Gambar 5. Hasil TEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 1



Gambar 6. Hasil TEM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel 2

### KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil karakterisasi XRD dan TEM, dapat disimpulkan bahwa telah terbentuk fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel dengan ukuran partikel sebesar 13,68 nm dan 14,33 nm.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. dan Khairurrijal, 2008 Review: Karakteristik Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, Vol. 2, No. 1, hal. 1-9.
- Faraji, M., Y. Yamini, and Rezaee, M., 2010, Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Functionalization, Characterization, and Appli-

- cation, *Journal of Iran Chemical Society*, Vol. 7, No. 1, p. 1-37.
- Hui, C., Shen, C., Yang, T., Bao, L., Tian, J., Ding, H., Li, C., dan Gao, H.J., 2008, Large Scale Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Soluble in Water Synthesized by a Facile Method, *J. Phys. Chem.*, Vol. 112, p. 11336-11339.
- Krisnawan, A., 2009, Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis A29 1D dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Difraction (XRD), *Skripsi*, Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah.
- Sun, Gubin, S.P., 2007, Magnetic Nanoparticles, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Sun, J., Zhou, S., Yang, Y., Weng, J. Li, X and Li, M., 2006, Synthesis and Characterization of Biocompatible Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles., Wiley InterScience.
- Yuliani, N.R., Arief, S. dan Septiani, U., 2013, Penggunaan Reduktor Organik dan Anorganik pada Proses Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan Metode Kopresipitasi, *Jurnal Kimia Unand*, Vol. 2, No. 1, hal. 93-97.

#### **BIODATA PENULIS**

**Ani Santi Lestari**, lahir di Banyuwangi pada tanggal 17 September 1996. Saat ini tercatat sebagai Mahasiswa Program Studi Kimia Universitas PGRI Banyuwangi.

**Dewi Sartika, M.Sc.**, lahir di Banyuwangi pada tanggal 22 Juni 1989, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Negeri Malang tahun 2011 pada bidang fisika material, pendidikan S2 dari Universitas Gadjah Mada tahun 2014 pada bidang fisika material. Saat ini tercatat sebagai Pengajar Tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi.

**ANALISIS KEKUATAN MASSA BATUAN ANDESIT MENGGUNAKAN  
KAI DAH KRITERIA KERUNTUHAN *HOEK-BROWN* UNTUK MENGETAHUI  
NILAI FAKTOR KEAMANAN LERENG PADA DAERAH SELOHARJO,  
KECAMATAN PUNDONG, KABUPATEN BANTUL, DIY**

**Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi<sup>1</sup>, Dina Tania<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>nurwidi@akprind.ac.id, <sup>2</sup>dina\_tania@akprind.ac.id

Masuk: 1 Juli 2018, Revisi masuk: 8 Juli 2018, Diterima: 10 Juli 2018

**ABSTRACT**

*The study area has a steep hill morphology with dominant lithology of andesite lava from the Ngelanggran Formation. Steep morphology with water saturated conditions and platy joints on andesite lava as rock discontinuities with different properties and weathering can be weakening the slope stability. Analysis of the rock mass strength of andesite lava with Hoek-Brown collapse criteria using GSI,  $m_i$ , uniaxial compressive strength, and D values can be used to obtain rock strength in the form of cohesion (c) and internal friction angle ( $\phi$ ), to be applied in the analysis of slope stability. The safety factor (FS) on the slope consists lithology and platy joints and massive using the equilibrium limits approach on the natural slopes shows on safe conditions (FK = 7.5). On very steep slope (slope angle  $80^\circ$ ) in LP S09B location which is the former slope of mining activity with lithology andesit platy jointings have strong slopes, and in the field of rock mass movement shows the result of FK value = 1.3 which is below the PU standard ( $> 1.5$ ). Slope reinforcement can be done by lowering slope angle up to  $75^\circ$  so that the safe conditions at FS = 2.4.*

**Keywords:** *Andesite, Hoek-Brown collapse, Safety factor, Slope.*

**INTISARI**

Daerah penelitian memiliki morfologi perbukitan curam dengan litologi penyusun dominan batuan lava andesit dari Formasi Ngelanggran. Morfologi yang curam dengan kondisi jenuh air dan kekar-kekar batuan berupa *platy joint* pada lava andesit sebagai bidang diskontinu yang berbeda sifat kekedapannya serta terlapukkan dapat memperlemah stabilitas lereng. Analisis kekuatan massa batuan lava andesit dengan kriteria keruntuhan *Hoek-Brown* menggunakan parameter nilai GSI,  $m_i$ , kuat tekan uniaksial, dan nilai D dapat digunakan untuk mendapatkan kekuatan batuan berupa nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ), untuk diaplikasikan pada analisis stabilitas lereng. Faktor keamanan (FK) pada lereng yang tersusun oleh lithologi andesit *platy joint* dan masif menggunakan pendekatan kesetimbangan batas pada lereng yang masih alamiah menunjukkan kondisi aman (FK = 7,5). Pada lereng yang sangat terjal (sudut lereng  $80^\circ$ ) dilokasi LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan dengan lithologi andesit *platy joint* memiliki kemiringan kekar searah dengan kemiringan lereng dan di lapangan terjadi gerakan massa batuan menunjukkan hasil nilai FK = 1,3 yang di bawah standart rekomendasi PU ( $>1,5$ ). Penguatan lereng dapat dilakukan dengan menurunkan sudut lereng sampai dengan  $75^\circ$  sehingga kondisi aman pada nilai FK= 2,4.

**Kata-kata kunci:** *Andesit, Faktor keamanan, Keruntuhan Hoek-Brown, Lereng.*

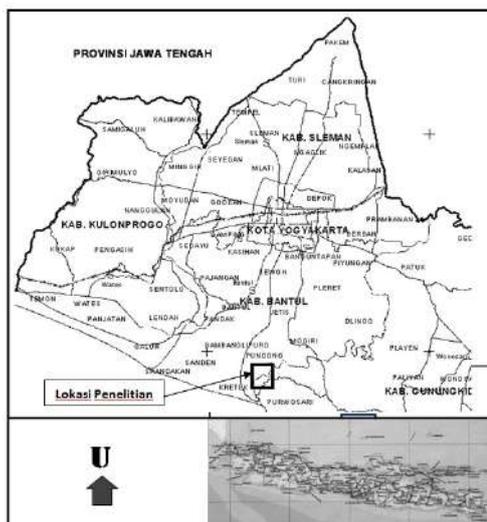
**PENDAHULUAN**

Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1) memiliki daerah sebagian bermorfologi

curam yang dipergunakan untuk pemukiman dan perkebunan. Daerah tersebut tersusun oleh lithologi batuan beku intrusi, lava andesit, dan breksi yang menurut Peta Geologi lembar

Yogyakarta (Raharjo, 1977) merupakan bagian dari Formasi Ngelanggran (Tmn) yang berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Gambar 3).

Morfologi yang curam, tingkat pelapukan, serta hadirnya bidang-bidang lemah berpotensi menimbulkan gerakan massa. Pada lava andesit dijumpai struktur kekar berlembar yang mana kehadiran kekar-kekar berlembar tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinu) yang mempengaruhi kekuatan massa batuan. Kehadiran lava andesit dengan struktur kekar berlembar dan autobreksi menarik untuk dikaji lebih mendalam dikarenakan kekuatan batuan dipengaruhi oleh struktur batuan yang hadir sebagai bidang lemah.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY

Tujuan penelitian adalah untuk memberikan gambaran klasifikasi massa batuan yang menyusun daerah Seloharjo, yang di dalamnya mencakup metode dan langkah-langkah konservasi geologi (lingkungan) untuk perlindungan terhadap potensi bencana geologi, disajikan dalam bentuk pengklasifikasian kelas massa batuan.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu studi pustaka, penelitian lapangan, analisis laboratorium dan pembuatan laporan.

Studi pustaka dikerjakan untuk memperoleh informasi dan mengumpulkan data sekunder. Eksplorasi data sekunder dengan melakukan *review* publikasi penelitian terdahulu dan kajian teoretik, terutama tentang karakteristik massa batuan andesit untuk mengetahui faktor keamanan.

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data karakteristik litologi lava andesit serta massa batuan. Pengamatan lithologi berupa struktur, tekstur dan komposisi mineral penyusun, bentang alam (morfologi) yang disusun oleh batuan tersebut, penggunaan lahan. Pengamatan massa batuan meliputi: kekuatan batuan (kuat tekan batuan), *rock quality designation* (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas dan konsidi air tanah. Pengambilan data di lapangan meliputi: *plotting* lokasi pengamatan; identifikasi batuan dan pencatatan data geologi.

Analisis laboratorium meliputi pengujian sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan melalui pengujian kuat tekan dan petrografi.

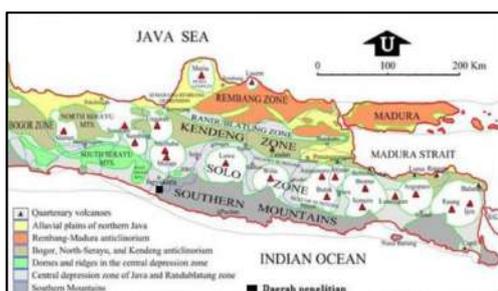
Pengolahan dan simulasi di studio meliputi: pengeplotan lokasi data lapangan, korelasi data, klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR), analisis metode keruntuhan *Hook & Brown* (2002) untuk menentukan kekuatan batuan, rekonstruksi di permukaan maupun bawah permukaan melalui penggambaran penampang 2 dimensi, memasukkan parameter material dan parameter geser massa batuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, melakukan simulasi terhadap lereng kritis untuk lebih aman dengan cara menurunkan kemiringan lereng.

Hasil data baik lapangan maupun studio dikorelasikan dengan data sekunder ataupun pendekatan dengan pemodelan teori yang terkait karakteristik massa batuan berikut kondisi geologi pengontrolnya diinterpretasikan dengan melakukan hubungan sintesa terhadap data sekunder dari peneliti terdahulu dan informasi teknologi terkini yang memungkinkan untuk diterapkan mengatasi permasalahan penelitian.

## PEMBAHASAN

### Tinjauan Umum

Daerah penelitian, secara fisiografi regional menurut Bemmelen (1949) merupakan bagian dari jalur Pegunungan Selatan bagian Barat yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Fisiografi daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur (Bemmelen, 1949)

Zona Pegunungan Selatan dibatasi oleh Dataran Yogyakarta-Surakarta di sebelah barat dan utara, sedangkan di sebelah timur oleh Waduk Gajah Mungkur, Wonogiri dan di sebelah selatan oleh Lautan India. Di sebelah barat, antara Pegunungan Selatan dan Dataran Yogyakarta dibatasi oleh aliran Kali Opak, sedangkan di bagian utara berupa gawir Baturagung. Bentuk Pegunungan Selatan ini hampir membujur barat-timur sepanjang lebih kurang 50 km dan ke arah utara-selatan mempunyai lebar lebih kurang 40 km.

Stratigrafi Pegunungan Selatan bagian Barat disusun oleh satuan-satuan batuan dari tua ke muda, yaitu sebagai berikut: Kelompok Batuan Pra Tersier, Formasi Wungkal, Formasi Butak, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, Formasi Oyo, Formasi Wonosari, Formasi Kepek hingga Endapan permukaan.

Batuan andesit di daerah Seloharjo terdapat pada Formasi Nglanggran (Rahardjo dkk., 1995) yang berupa lava, intrusi dan fragmen breksi vulkanik (Gambar 3). Kehadiran Lava andesit menarik untuk dikaji lebih mendalam, hal ini dapat dilihat pada model pembentukan lava (MacDonald, 1972) yang menunjukkan adanya kenampakan karekteristik struktur batuan yang

terbantuk pada lava, seperti adanya struktur *autobreccia*, *platy joint* (kekar berlembar).



Gambar 3. Geologi daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul menurut Rahardjo dkk. (1995)

Batuan adalah material yang tersusun oleh butir-butir mineral dan kristal terikat satu sama lain oleh semen dan kristal-kristal yang saling mengunci, memiliki kekerasan, tidak menjadi substansi elastis saat mengandung air. Sebagai massa, merupakan material diskontinu dengan kekar dan rekahan padanya. Rekahan ini dikontrol oleh resistensi massa batuan keseluruhan dan gaya yang terjadi, bukan kekuatan butiran, kristal, atau material semen pengikat antar butir. Selain rekahan, terdapat struktur batuan yang berkontribusi dalam mempengaruhi kekuatan batuan, antara lain shears, perlapisan, foliasi, dan struktur geologi berupa sesar. Kekuatan batuan dipengaruhi oleh struktur batuan yang hadir sebagai bidang lemah.

Pengaruh struktur batuan dapat menurunkan kekuatan batuan karena kuat geser tergantung pada kohesi (ikatan atom secara primer-"faktor internal") dan sudut geser dalam (ekspresi ikatan antar butir), sehingga batuan mudah terdeformasi. Bentuk deformasi ini dapat diidentifikasi pada singkapan batuan dengan ciri mempunyai morfologi dengan lereng yang labil. Ketidakstabilan ini diakibatkan oleh kelulusan air besar pada struktur batuan tersebut, dan apabila terjadi pada *tension cracks* maka karena dengan adanya air tersebut akan menjadi beban pada lereng batuan, selain itu juga peristiwa masuknya air tersebut akan mengakibatkan suatu pengangkatan dengan gaya yang disebabkan oleh

tekanan air, sehingga akibatnya dapat menimbulkan ketidakstabilan pada lereng batuan (Goodman, 1976). Kondisi struktur rekahan atau kekar dan spasi kekar, orientasi kekar dan lereng, serta kondisi keairan (akifer air dalam massa batuan) merupakan bagian dari parameter massa batuan sebagai data pendukung dalam interpretasi analisa laboratorium dari parameter kekuatan batuan (*uniaxial compressive strength/UCS*) (Bieniaswki, 1989).

### Data Lapangan

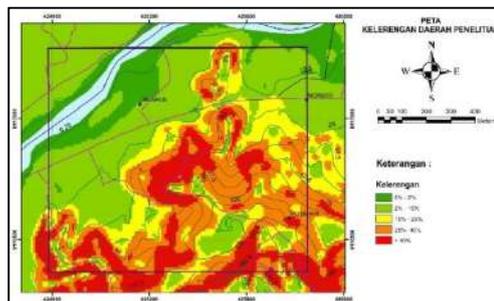
Daerah penelitian memiliki morfologi berlereng curam pada daerah berbukit (Gambar 4). Morfologi di daerah telitian terdiri dari lereng alamiah dan lereng yang terbentuk karena aktifitas manusia (Gambar 5). Kelerengan pada daerah telitian berdasarkan data kontur pada peta rupabumi dapat dibagi menurut klasifikasi kelerengan Van Zuidam yang tersaji pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pada daerah perbukitan memiliki kelerengan antara 15% - > 40%.



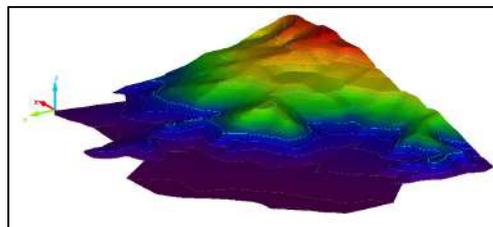
Gambar 4. Kenampakan morfologi pada daerah penelitian



Gambar 5. Kenampakan lereng yang terbentuk karena aktifitas penggalian dan terjadi gerakan massa



Gambar 6. Peta kelerengan pada daerah penelitian



Gambar 7. Kenampakan morfologi 3 dimensi pada daerah penelitian

Lokasi penelitian merupakan daerah pemukiman dan perkebunan. Daerah perkampungan dihubungkan oleh jalan yang dibangun dengan memotong bukit. Pembangunan rumah dan jalan ini membuat perubahan *slope* lereng menjadi lebih terjal (Gambar 5, Gambar 8, dan Gambar 9).



Gambar 8. Kenampakan lereng andesit dengan struktur kekar berlembar pada pinggir jalan LP S05

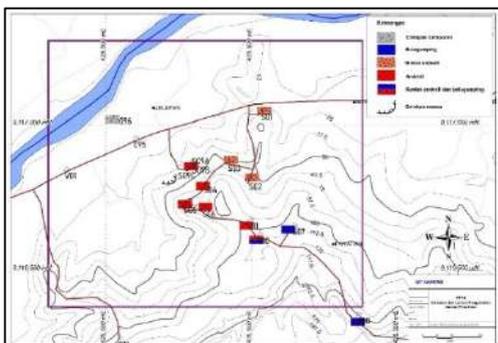


Gambar 9. Kenampakan lereng andesit dengan struktur kekar berlembar berada di samping rumah warga

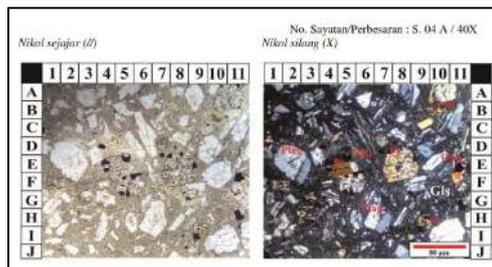
Dari pengamatan lapangan dijumpai lithologi breksi, andesit dan batugamping. Peta lokasi pengamatan tersaji pada Gambar 10. Batuan andesit di lapangan dijumpai dalam bentuk lava andesit massif, lava andesit berstruktur autoklastik dan lava andesit dengan struktur kekar berlembar (Gambar 12).

Lava andesit, memiliki warna lapuk coklat, warna segar abu-abu gelap, struktur massif dan kekar berlembar, *afanitik*, *hipokristalin*, *subhedral*, *inequigranular*, komposisi plagioklas, piroksen, kuarsa. Dari pengamatan petrografi batuan berdasarkan klasifikasi William (1954) masuk kedalam penamaan andesit piroksen (Gambar 11). Kenampakan singkapan lava dengan struktur kekar berlembar tersaji pada Gambar 13.

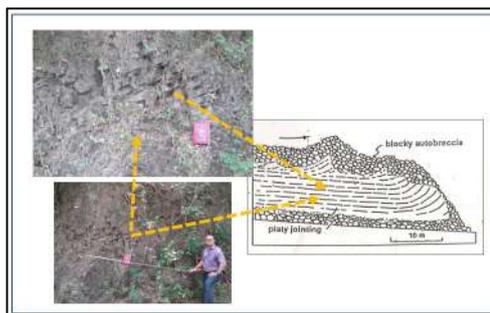
Batugamping, warna segar putih kecoklatan, massif, warna lapuk coklat, struktur massif, komposisi terdiri dari kerangka fosil koral, ganggang, alga dan foraminifera, butiran saling mendukung dan mengikat.



Gambar 10. Peta lintasan dan lokasi pengamatan pada daerah penelitian



Gambar 11. Kenampakan sayatan tipis batuan andesit piroksen pada lokasi LP S05



Gambar 12. Kenampakan singkapan LP S05 menunjukkan lava andesit berstruktur kekar berlembar dan pendekatan model pembentukannya menurut MacDonald (1972)



Gambar 13. Kenampakan singkapan lava andesit massif pada LP S04B

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian yaitu dijumpai sebagai struktur primer maupun struktur sekunder. Struktur primer dijumpai pada lava andesit yang menunjukkan struktur

kekar berlembar yang menunjukkan bahwa kekar berlembar ini terbentuk karena pembekuan lava andesit (Gambar 12). Kekar berlembar di lapangan umumnya memiliki spasi 3-10cm, pajang 10-15meter, terbuka, sedikit kasar, lapuk sedang dari pengamatan di lapangan. Struktur sekunder juga membentuk kondisi geologi pada daerah penelitian, hal ini tampak dari kenampakan gawir yang memanjang relatife timur-barat dan membentuk morfologi lereng curam (Gambar 4).

### Analisis dan Pengolahan Data

Analisis laboratorium yang dilakukan adalah meliputi analisis petrografi di Laboratorium Sumberdaya Mineral, analisis sifat fisik dan mekanik batuan di Laboratorium Geologi Teknik & Tata Lingkungan Jurusan Teknik Geologi FTM IST AKPRIND. Hasil pengujian sifat fisik batuan tersaji pada Tabel 1, sedangkan hasil pengujian kuat tekan tersaji pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik

NO.	PARAMETER	Sampel							
		S02	S04 A	S04 B	S05	S09A	S09B	S09C	
1	Berat conto asli (Wn), gr	229.8	294	316.6	122.6	242.10	213.7	153.6	
2	Berat conto kering (Wo), gr	227	293.4	316.3	122.3	236.10	206.2	147.6	
3	Berat conto jenuh (Ww), gr	233.2	295.1	317.8	122.9	245.30	214.5	154.2	
4	Berat conto jenuh terganggu dalam air (Ws), gr	131.8	186.4	204.1	77.8	150.50	132.5	92.4	
5	Bobot isi asli (natural density), gr/cm <sup>3</sup>	2.27	2.70	2.78	2.72	2.55	2.61	2.49	
6	Bobot isi kering (dry density), gr/cm <sup>3</sup>	2.24	2.70	2.78	2.71	2.49	2.51	2.39	
7	Bobot isi jenuh (saturated density), gr/cm <sup>3</sup>	2.30	2.71	2.80	2.73	2.59	2.62	2.50	
8	"Apparent specific gravity"	2.24	2.70	2.78	2.71	2.49	2.51	2.39	
9	"True specific gravity"	2.38	2.74	2.82	2.75	2.76	2.80	2.67	
10	Kadar air asli (natural water content), %	1.23	0.20	0.09	0.25	2.54	3.64	4.07	
11	Kadar air jenuh (absorption), %	2.73	0.58	0.47	0.49	3.90	4.03	4.47	
12	Derajat kejenuhan, %	45.16	35.29	20.00	50.00	65.22	90.36	90.91	
13	Porositas, %	6.11	1.56	1.32	1.33	9.70	10.12	10.68	
14	Void ratio	0.07	0.02	0.01	0.01	0.11	0.11	0.12	

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan

No Sampel	Kuat Tekan Uniaxial	
	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
S02	144.20	14.14
S04 A	571.04	56.00
S04 B	450.48	44.18
S05	570.53	55.95
S09A	190.76	18.71
S09B	580.11	56.89
S09C	369.96	36.28

Analisis dan pengolahan data dilakukan dengan melakukan analisis kesetabilan lereng di daerah penelitian yang didasarkan pada kriteria keruntuhan *Hoek & Brown* (2002). Kriteria runtuh *Hoek & Brown* ini digunakan untuk

mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dengan menggunakan parameter nilai *geological strength index* (GSI), mi, kuat tekan uniaksial, dan nilai ketergangguan batuan (D). Parameter tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai mb, s, dan a yang selanjutnya dipakai untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

Untuk mendapatkan nilai GSI maka sebelumnya dilakukan pengklasifikasian massa batuan menggunakan metode *rock mass rating* (RMR) yang mengacu pada Bieniawski tahun 1989. Klasifikasi ini menggunakan parameter kekuatan batuan (kuat tekan batuan), *rock quality designation* (RQD), spasi discontinuitas, kondisi diskontinuitas dan kondisi air tanah. Pengamatan RQD dilakukan di lapangan kemudian dihitung dengan persamaan:

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} \times (0,1\lambda + 1)$$

dimana  $\lambda$  adalah jumlah kekar per meter.

Tabel 3. Nilai RQD

Lokasi	RQD	Klasifikasi
S02	96.30%	Sangat baik
S4A	19.90%	Sangat jelek
S4B	91%	Sangat baik
S5	19.90%	Sangat jelek
S9B	20%	Sangat jelek

Klasifikasi massa batuan dengan RMR menunjukkan kelas massa batuan pada lokasi penelitian adalah kelas batuan II (baik) sampai III (sedang). Contoh hasil pembobotan kelas massa batuan tersaji pada Tabel 4 dan hasil resume RMR per lokasi pengamatan tersaji pada Tabel 5.

Tabel 4. Contoh pengklasifikasian kelas massa batuan RMR sistem

Lokasi Pengamatan 4 A		
Parameter	Nilai/Kondisi	Bobot
Kekuatan Batuan	56 Mpa	7
RQD	19.90%	3
Spasi Diskontinuitas	3-10cm	5
Kondisi Diskontinuitas	Panjang 10-15m, terbuka 1mm, sedikit kasar, lapuk sedang.	14
Kondisi Air Tanah	Kering	15
Jumlah Bobot		44
Kelas Massa Batuan		III (Sedang)

Tabel 5. Hasil pembobotan RMR dan kelas massa batuan

Lokasi	Lithologi	Bobot RMR	Kelas Massa Batuan
S02	andesit	69	II (Baik)
S4A	andesit	44	III (Sedang)
S4B	andesit	67	II (Baik)
S5	andesit	44	III (Sedang)
S9B	andesit	44	III (Sedang)

Dari hasil klasifikasi massa batuan menggunakan metode RMR di dapatkan pembobotan kelas massa batuan. Nilai RMR ini dipergunakan untuk menghitung GSI (*Geological strength index*) dengan rumus  $GSI = RMR - 5$ . Data tersebut selanjutnya dapat dipergunakan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan kriteria keruntuhan *Hoek-Brown*. Sebagai contoh perhitungan adalah pada lokasi pengamatan S04A didapatkan data RMR = 44, GSI = 39, kuat tekan ( $\sigma_{ci}$ ) = 56 MPa,  $m_i = 25$  dan faktor terganggunya batuan ( $D$ ) = 0 sehingga kemudian dapat dihitung seperti di bawah ini:

$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI-1}{28-14D} \right]$$

$$= 25 \exp \left[ \frac{39-100}{28-14 \times 0} \right]$$

$$= 2,83008$$

$$S = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right]$$

$$= \exp \left[ \frac{39-1}{9-3 \times 0} \right]$$

$$= 0,00114$$

$$A = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right]$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-39/15} - e^{-20/3} \right]$$

$$= 0,51217$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s)) \left( \frac{m_b + s}{4} \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

$$= 12,118 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,91}$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{12,118} = 0,72 \left( \frac{12,118}{0,026 \times 15} \right)^{-0,91}$$

$$\sigma'_{3max} = 0,38257 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$$

$$\sigma'_{3n} = 0,38257 / 56$$

$$\sigma'_{3n} = 0,0068316$$

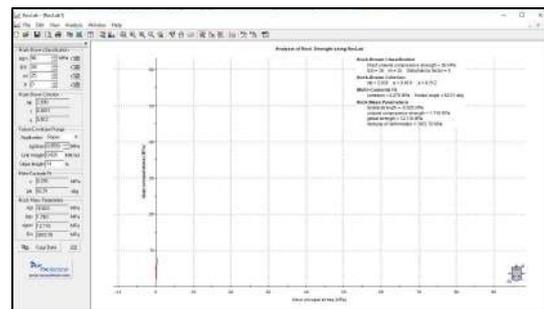
$$\phi = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$= 62,2^\circ$$

$$C' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}] (s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

$$= 0,286 \text{ Mpa}$$

Penghitungan *Hoek & brown* dan tampilan grafik dapat dipercepat dengan aplikasi *Roclab* seperti pada Gambar 14 dan hasilnya tersaji pada Tabel 6.



Gambar 14. Kenampakan tampilan aplikasi Roclab dalam mengitung dengan metode Hoek & Brown (2002)

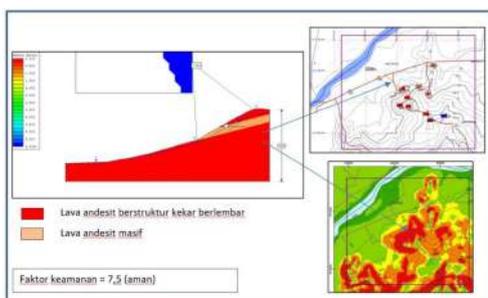
Tabel 6. Hasil penghitungan kekuatan batuan dengan metode *Hoek & Brown* (2002)

Sample	RMR Basic	Hoek Brown Classification				Hoek Brown Criterion				Failure Envelope Range				Rock Mass Parameters				Mohr-Coulomb Fit	
		GSI	sigci (Mpa)	mi	D	mb	s	a	sig3max (Mpa)	sigt (Mpa)	sigc (Mpa)	sigcm (Mpa)	Em (Mpa)	c (Mpa)	phi				
S04A	44	39	56	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.382569	-0.023	1.74	12.118	3972.8	0.29	62.14				
S04B	67	62	44.18	25	0	6.4349	0.015	0.5	0.390737	-0.101	5.295	15.324	13262	0.56	64.89				
S05	44	39	55.95	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.382508	-0.022	1.737	12.096	3969.2	0.29	62.14				
S09	44	39	56.8	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.383058	-0.023	1.765	12.291	4001.1	0.29	62.22				

Penentuan faktor keamanan lereng dilakukan pada daerah yang memiliki kelerengan yang curam seperti yang tersaji pada peta kelerengan (Gambar 6.). Analisis dilakukan pertama dengan membuat penampang yang melalui lereng curam tersebut, kemudian membuat rekonstruksi lithologi bawah permukaan yang terdiri atas lava andesit dengan struktur kekar berlembar dan massif. Penampang ini kemudian dilengkapi data material dengan parameter sifat fisik dan mekanik yaitu bobot isi, kohesi dan sudut gesek dalam dari hasil perhitungan dengan metode *Hoek-Brown* (Tabel 1 dan Tabel 6). Simulasi dilakukan pada lereng asli alamiah (Gambar 15) dan pada daerah

yang sudah berubah slope lerengnya karena aktifitas penggalian untuk pembangunan infrastruktur maupun penambangan (Gambar 16). Hal ini bertujuan untuk melihat nilai keamanan lereng dan memberikan rekomendasi lereng yang aman apabila nantinya akan dilakukan penggalian yang akan memperbesar nilai slope lereng dan beda tingginya.

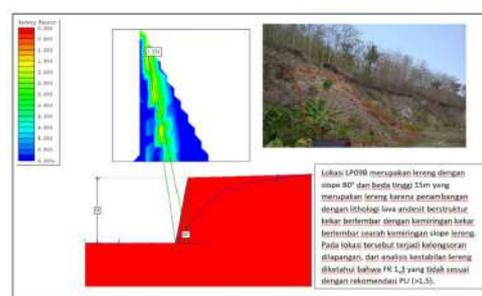
Analisis pertama dilakukan pada lereng dari penampang yang melintasi lereng curam yang mengacu pada peta kelerengan. Rekonstruksi bawah permukaan menunjukkan bahwa lithologi penyusun terdiri dari lava andesit berstruktur kekar berlembar dengan sisipan lava andesit massif seperti tampak pada Gambar 15. Penentuan nilai faktor keamanan (FK) menggunakan pendekatan kesetimbangan batas. Hasil analisis menunjukkan lereng dalam kondisi aman dari gerakan massa batuan dengan nilai FK = 7,5. Nilai FK ini dipengaruhi oleh data penampang yang digunakan adalah penampang dari topografi rupa bumi yang skalanya terlalu kecil sebagai dasar pembuatan morfologi.



Gambar 15. Kenampakan hasil analisis nilai faktor keamanan lereng pada penampang dari data topografi alamiah yang menunjukkan kondisi aman dengan FK = 7,5

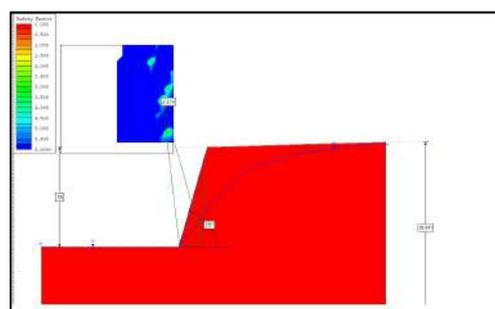
Pengujian lereng lain dilakukan juga pada lereng yang lebih curam karena kegiatan manusia. Sebagai contoh dilakukan analisis lereng yang sangat terjal pada LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan pada daerah penelitian dengan slope lereng 80°. Lithologi penyusunnya adalah andesit dengan struktur kekar berlembar

dengan kemiringan kekar searah dengan slope lereng. Kondisi kekar berlembar yang merupakan bidang lemah (diskontinuitas) dengan geometri tersebut secara kestabilan tidak menguntungkan. Hal ini terbukti dengan munculnya gerakan massa batuan di lapangan, serta dari hasil analisis lereng menunjukkan hasil nilai FK = 1,3 yang di bawah standart rekomendasi Departemen Pekerjaan Umum (PU) yaitu >1,5. Kenampakan hasil analisis tersaji pada Gambar 16.



Gambar 16 Kenampakan analisis lereng pada LP S09B yang merupakan lereng bekas penambangan memiliki nilai FK 1,3 (berada di bawah rekomendasi PU dengan FK di bawah 1,5)

Pengujian yang lain dilakukan dengan memodifikasi lereng pada LP S09B dengan membuat simulasi penurunan sudut lereng. Pada lereng tersebut kemudian diturunkan sudutnya menjadi 75° sehingga didapatkan nilai FK 2,4. Hal ini sesuai dengan rekomendasi PU sehingga dapat dipergunakan untuk rekomendasi perkuatan lereng dengan cara penurunan slope (Gambar 17).



Gambar 17. Simulasi menaikkan nilai FK LP S09B dengan menurunkan slope

lereng menjadi  $75^\circ$  sehingga didapatkan nilai FK 2,4

### KESIMPULAN

Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY memiliki daerah sebagian bermorfologi curam yang dipergunakan untuk pemukiman dan perkebunan. Morfologi curam ini terbentuk secara alamiah karena kondisi geologi yang merupakan perbukitan berlereng curam yang tersusun oleh lithologi lava andesit dan breksi, serta morfologi curam yang terbentuk karena aktifitas manusia. Kelerengan pada daerah telitian berdasarkan data kontur pada peta rupabumi dapat dibagi menurut klasifikasi kelerengan Van Zuidam kelerengan antara 15% -> 40%. Batuan beku andesit di lapangan dijumpai dalam bentuk lava andesit massif, lava andesit berstruktur autoklastik dan lava andesit dengan struktur kekar berlembar.

Klasifikasi massa batuan dengan metode RMR pada daerah penelitian pada lithologi andesit menunjukkan kelas batuan II (baik) sampai III (sedang). Berdasarkan kriteria runtuh *Hoek-Brown* menggunakan parameter nilai GSI, mi, kuat tekan uniaksial, dan nilai D, maka didapat nilai mb, s, dan a yang kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Proses penghitungan dapat mempermudah dalam mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam dengan bantuan software *Roclab*.

Analisis untuk penentuan nilai faktor keamanan (FK) pada lereng yang tersusun oleh lithologi andesit kekar berlembar menggunakan pendekatan kesetimbangan batas pada lereng yang masih alamiah menunjukkan lereng dalam kondisi aman dari gerakan massa batuan dengan nilai FK = 7,5.

Dari analisis lereng yang sangat terjal pada LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan pada daerah penelitian memiliki slope lereng  $80^\circ$ , lithologi andesit berstruktur kekar berlembar, kemiringan kekar searah dengan slope lereng dan tampak di lapangan terjadi gerakan massa batuan menunjukkan hasil nilai FK = 1,3 yang di

bawah standar rekomendasi PU ( $>1,5$ ). Penguatan lereng dapat dilakukan dengan menurunkan slope lereng sampai dengan  $75^\circ$  dengan nilai FK menjadi 2,4 sehingga menjadi aman.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2005, Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, New York: John Wiley & Sons.
- Bemmelen, R. W., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. IA, Netherland: The Haque Martinus Nijhroff, Government Printing Office.
- Goodman, R. E., 1976, Introduction to Rock Mechanics, 2<sup>nd</sup> ed., Singapore: John Wiley & Sons.
- Hoek, E., Torres, C., and Corkum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion, Rockscience Inc., Toronto, Canada.
- Hoek, E., 2007, Practical Rock Engineering, Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada.
- Sonmez, H. and Ulusay, R., 1999, Modifications to Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 36.
- MacDonald, G. A., 1972, Volcanoes, New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi H. M. D., 1995, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Williams, H., Turner, F. J., dan Gilbert, C. M., 1954, Petrography, An Introduction to The Study of Rock in Thin Sections, W. H. Freeman and Company, New York.
- Van Bemmelen, R. W., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. IA, General Geology of Indonesia And Adjacent Archipelagoes, 2<sup>nd</sup> ed., Martinus Nijhoff, The Hague.
- Van Zuidam, R. A., 1983, Guide to Geomorphology Ariel Photographic Interpretation and Mapping, ITC Enschede The Nederland.

**BIODATA PENULIS**

**Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi, S.T., M.T.**, lahir di Sleman tanggal 21 Agustus 1979, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2003 pada Jurusan Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2012 pada Program Magister Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat geologi batubara dan geologi teknik.

**Dina Tania, S.T., M.T.**, lahir di Bangka tanggal 18 Mei 1982, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2006 pada Jurusan Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2013 pada Magister Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat paleontologi.

## GEOMORFOLOGI DAN MORFOMETRI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) TINALAH DI KABUPATEN KULONPROGO DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

**Septian Vienastra**

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: vienastra@akprind.ac.id

Masuk: 10 Juli 2018, Revisi masuk: 18 Juli 2018, Diterima: 19 Juli 2018

### ABSTRACT

*Tinalah Watershed is part of the Progo Sub-watershed. The Tinalah River flows to southeast and its outlet on the Progo River. Tinalah Watershed has a resource that has not been utilized optimally, road network is good enough, there are farms and plantation. Parameters that measured and analyzed include geomorphological conditions and calculation of morphometric variables. Geomorphological conditions in this watersheds most of them are hills stretching from north to south with varying degrees of erosion. Landform in this watershed Tinalah form of the origin of fluvial, structural, and denudational process. Based on the calculation of watershed morphometric the following results are obtained: Area watershed (A) of 44.43 km<sup>2</sup>. The number of River Order (Nu) in each river order from 1 to 5 respectively is 136, 25, 8, 2, and 1. Bifurcation Ratio (Rb) at each order of the order ranging from 1 to 4 respectively is 5.44; 3,125; 4 and 2. Circulation Ratio (Rc) value is 0,558. Main river length (L) is 13.02 km, River Density (Dd) 2.77 km / km<sup>2</sup>, Length and Wide of Watershed 11.05 km and 5.44 km. The value of the river slope (Sb) is 6.8% and the Slope of Watershed (So) is 43%.*

**Keywords:** *Geomorphology, Morphometry, Tinalah, Watershed.*

### INTISARI

DAS Tinalah merupakan bagian dari Sub DAS Progo. Sungai Tinalah mengalir ke arah tenggara dan bermuara di Sungai Progo. DAS Tinalah memiliki sumberdaya wilayah yang belum dimanfaatkan secara optimal, jaringan jalan cukup baik, terdapat lahan pertanian dan perkebunan. Parameter yang diukur dan dianalisis meliputi kondisi geomorfologi dan perhitungan variabel morfometri DAS. Kondisi geomorfologi di DAS Tinalah sebagian besar merupakan perbukitan yang membentang dari utara hingga selatan dengan tingkat pengikisan yang bervariasi. Bentuk lahan yang terdapat di DAS Tinalah berupa bentukan asal proses fluvial, struktural, dan denudasional. Berdasarkan perhitungan morfometri DAS, maka didapatkan hasil Luas DAS (A) sebesar 44,43 km<sup>2</sup>. Jumlah Order Sungai (Nu) pada masing-masing orde sungai mulai 1 sampai 5 berturut-turut adalah 136, 25, 8, 2, dan 1. *Bifurcation Ratio* (Rb) pada masing-masing orde sungai mulai orde 1 sampai 4 berturut-turut adalah 5,44; 3,125; 4 dan 2. Nilai *Circulation Ratio* (Rc) yaitu 0,558. Panjang Sungai Utama (L) sebesar 13,02 km, Kerapatan Sungai (Dd) 2,77 km/km<sup>2</sup>, Panjang dan Lebar DAS 11,05 km dan lebarnya 5,44 km. Nilai Kemiringan Sungai (Sb) 6,8% dan Kemiringan DAS (So) 43%.

**Kata-kata kunci:** Daerah Aliran Sungai, Geomorfologi, Morfometri, Tinalah.

### PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah yang dibatasi oleh igir-igir punggung bukit dan berfungsi sebagai pengumpul, penyimpanan dan penyalur air, sedimen serta unsur-unsur hara dalam

sistem sungai yang kesemuanya keluar melalui satu titik tunggal (single outlet). Daerah ini dibatasi oleh topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan aliran permukaan (Harto, 1993).

DAS Tinalah merupakan bagian dari Sub DAS Progo. Sungai Tinalah yang berada di dalamnya mengalir ke arah tenggara menuju outletnya di Sungai Progo. DAS Tinalah memiliki fungsi yang penting antara lain sebagai pendukung jaringan irigasi yang ada. Sebagian DAS Tinalah terutama bagian hulu merupakan wilayah yang rentan terhadap ancaman erosi dan longsor.

Wilayah hulu DAS Tinalah merupakan kompleks Perbukitan Struktural Menoreh. Faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan kualitas lahan disebabkan oleh karakteristik iklim, geologi, geomorfologi, tanah, dan penggunaan lahannya. Proses yang sering terjadi pada wilayah ini adalah erosi dan longsor lahan. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya intensitas hujan, kondisi geologi, topografi dan tanahnya serta pola pemanfaatan lahan. Tingginya aliran permukaan dan tingkat erodibilitas lahan pada daerah hulu akan menyebabkan banjir dan sedimentasi yang besar pada bagian hilir. Sedimentasi yang besar akan menyebabkan pendangkalan sungai dan penurunan kualitas air.

Pengelolaan DAS dapat dilakukan melalui analisis geomorfologi dengan pendekatan bentanglahan sebagai acuan dasar dalam menangani permasalahan lingkungan. DAS Tinalah di Kabupaten Kuloprogo dipilih sebagai daerah kajian karena daerah ini memiliki sumberdaya wilayah yang belum dimanfaatkan secara optimal, jaringan jalan cukup baik, masih ada lahan pertanian dan perkebunan serta telah banyak dilakukan berbagai macam penelitian sehingga diharapkan data yang dibutuhkan cukup banyak tersedia.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka timbul pertanyaan sebagai berikut, bagaimana kondisi morfometri DAS Tinalah berdasarkan kondisi geomorfologinya dalam kaitannya dengan karakteristik DAS.

## METODOLOGI

Pengukuran Morfometri DAS adalah bagian dari morfologi yang merupakan aspek pengukuran atau aspek kuantitatif

dari suatu daerah, misalnya kemiringan lereng, ketinggian tempat dan derajat kekasaran (Zuidam, 1978). Studi morfometri mencakup pengukuran dan analisis matematik terhadap luas, ketinggian, volume, kemiringan, profil dan tekstur suatu daerah. Parameter yang akan diukur dan dianalisis meliputi aspek morfometri linier DAS, aspek morfometri areal DAS, profil topografi dan kemiringan lereng.

Variabel-variabel dalam menentukan morfometri DAS daerah penelitian adalah:

### 1. Luas DAS (A)

Luas DAS dalam penelitian ini adalah luas DAS yang dibatasi oleh igir pegunungan (pembatas topografi) yang berfungsi sebagai pemisah air (*water divided*) yang bertemu pada satu titik outlet (*single outlet*). Informasi luas DAS sangat penting perannya untuk mengetahui perkiraan air yang dihasilkan dari DAS atau dapat dijadikan acuan untuk menganalisis debit puncak yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan. Semakin luas suatu DAS maka air hujan yang ditampung akan semakin besar.

### 2. Jumlah Orde Sungai (Nu)

Alur sungai dalam DAS dapat dibagi menjadi beberapa orde. Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai di dalam suatu DAS. Dengan demikian, semakin banyak jumlah orde sungainya maka DAS akan semakin luas dan semakin panjang pula alur sungainya. Penentuan orde sungai dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Strahler (Seyhan, 1977). Menurut Seyhan (1977) metode ini dianggap lebih sistematis, sehingga dapat mempermudah analisis selanjutnya. Penentuan orde sungai dengan metode Strahler dilakukan dengan menentukan orde per segmen atau cabang. Semua sungai yang belum mempunyai cabang dianggap orde 1. Setiap orde yang sama bertemu, maka akan menghasilkan orde setingkat di atasnya, misal orde 1 bertemu dengan orde 1 menjadi orde 2, orde 2 bertemu dengan

orde 2 menjadi sungai orde 3, dan seterusnya. Tetapi apabila orde 1 bertemu dengan orde 2 tetap menjadi sungai orde 2, demikian pula bila orde 2 bertemu orde 3 tetap menjadi orde 3.

### 3. *Bifurcation Ratio* (Rb)

Nilai *Bifurcation Ratio* (Rb) menyatakan perbandingan dari jumlah alur sungai orde n dengan jumlah alur sungai orde n+1. Aplikasi dari perhitungan nilai ini dapat digunakan untuk menentukan lama terjadinya kenaikan dan penurunan muka air banjir. Nilai Rb dihitung sebagai berikut:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Nu : jumlah alur sungai orde n  
Nu+1 : jumlah alur sungai orde n+1

### 4. *Circulation Ratio* (Rc)

DAS memiliki bentuk yang berbeda-beda. Hal ini antara lain dikontrol oleh struktur geologi dan juga geomorfologinya. Nilai *Circulation Ratio* (Rc) didapat dari salah satu parameter DAS, yaitu luas DAS (A) dibandingkan dengan luas DAS dalam bentuk lingkaran (Ao). Parameter bentuk DAS ini akan berpengaruh terhadap hidrograf banjir yang dihasilkan. Nilai Rc = 1 berarti bentuk DAS adalah lingkaran, apabila nilai Rc semakin kecil (mendekati nol) berarti bentuk DAS jauh dari lingkaran. Rumus untuk perhitungan faktor bentuk DAS (Rc) adalah:

$$Rc = \frac{4\pi A}{P^2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

A : luas DAS (km<sup>2</sup>)  
P : keliling DAS (km)

Penentuan nilai Rc dapat digunakan untuk menganalisis tipe aliran sungainya. Jika bentuk DAS tergolong membulat, maka aliran sungainya didominasi dengan tipe dendritik, dengan bentuk lahan yang berupa bentukan denudasional. Untuk DAS yang memanjang tipe aliran sungainya telis, hasil dari adanya proses endogen. Penentuan dari tipe aliran sungai ini masih perlu adanya cek lapangan dengan pen-

dekatan geomorfologi terutama proses-proses yang bekerja. Penentuan tipe aliran sungai hanya merupakan pendekatan.

### 5. Panjang Sungai Utama (L)

Panjang sungai utama (L) yaitu panjang sungai diukur dari mulai *outlet* (hilir sungai) sampai pada *inlet* (hulu sungai). Panjang orde sungai (Lu) dihitung berdasarkan penjumlahan dari masing-masing orde sungai. Panjang sungai terkait dengan bentuk DAS. Bentuk DAS yang memanjang memiliki sungai utama yang lebih panjang daripada bentuk DAS yang membulat.

### 6. Kerapatan Alur Sungai (Dd)

Kerapatan alur sungai (Dd) menyatakan suatu angka indeks panjang seluruh alur sungai pada setiap satuan luas DAS atau sub DAS, yaitu panjang sungai per km<sup>2</sup> luas areal. Kerapatan alur sungai juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat erosi dan pelapukan batuan. Semakin tinggi kepadatan alur sungai, semakin tinggi pula erosi dan semakin besar tingkat pelapukan batuan dalam DAS tersebut. Kerapatan alur sungai dihitung sebagai berikut:

$$Dd = \frac{Li}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Li : panjang seluruh alur sungai (km)  
A : luas DAS (km<sup>2</sup>)

### 7. Panjang dan Lebar DAS

Panjang DAS diukur dari *outlet* sampai ke *inlet* sungai dengan jarak yang terjauh, sedangkan lebar DAS diukur dari nilai *Center of Gravity* (CG) dengan menarik garis tegak lurus garis dari CG sampai *outlet*. Perhitungan ini dapat digunakan untuk penentuan pengambilan sampel dan petunjuk untuk melakukan survei.

### 8. Kemiringan Sungai (Sb) dan Kemiringan DAS (So)

Kemiringan sungai (Sb) merupakan rasio antara beda tinggi dengan jarak horisontal. Menurut Seyhan (1977) ada dua pendekatan untuk mengetahui kemiringan sungai, yaitu pendekatan

geomorfologi dan pendekatan hidrologi. Rumus dalam metode ini adalah:

$$Sb = \frac{h_2 - h_1}{L} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

$h_2$  : elevasi pada hulu sungai utama (km)

$h_1$  : elevasi pada hilir sungai utama (km)

L : panjang sungai utama (km)

Kemiringan rerata DAS menyatakan ukuran secara kuantitatif dari ukuran kemiringan rerata DAS secara keseluruhan. Perhitungan dilakukan berdasarkan kaidah *contour length method* yang ditemukan oleh Horton (Seyhan, 1977), dengan asumsi bahwa semakin panjang garis kontur berarti reliefnya semakin kasar, sehingga kemiringan DAS semakin curam. Rumus untuk menghitung kemiringan DAS adalah sebagai berikut:

$$So = \frac{M.Ci}{A} \dots\dots\dots(5)$$

M : total panjang garis kontur DAS (km)

Ci : kontur interval (km)

A : luas DAS (km<sup>2</sup>)

## PEMBAHASAN

### Morfologi

Sebagian besar DAS Tinalah merupakan perbukitan yang membentang dari utara hingga selatan dengan tingkat pengikisan yang bervariasi. Morfologi perbukitan memiliki ciri ketinggian tidak lebih dari 300 m dan memiliki kemiringan lereng 15%-45%. Pada bentukan perbukitan yang kompleks, terdapat igir dan lembah yang cukup curam. Igir dan lembah merupakan bentukan hasil dari proses erosi yang terjadi di perbukitan atau pegunungan. Bentuk dari lembah dapat berbentuk V atau U, tergantung pada intensitas erosi yang bekerja pada suatu batuan induk tertentu, selain itu juga dapat tergantung dari tingkat resistensi batuan. Lembah berbentuk U dapat dijumpai pada lereng atas hingga lereng bawah perbukitan dengan batuan induk breksi andesit (formasi van Bemmelen), sedangkan lembah berbentuk U terdapat

pada lembah sungai Tinalah bagian hilir dengan batuan induk batu pasir, *marls*, *limestone*, *tuffs*, sisipan lignit, konglomerat (Formasi Nanggulan). Seperti halnya lembah, bentuk igir perbukitan juga dipengaruhi oleh intensitas erosi dan batuan induk. Igir perbukitan dapat berbentuk lancip terjal ataupun membulat tidak terjal.

Lereng kaki merupakan zona peralihan yang terletak antara perbukitan dan dataran. Material lereng kaki biasanya merupakan hasil rombakan lereng di atasnya (koluvium), sehingga memiliki struktur yang lemah dan rawan terjadi longsor. Sebagian besar lereng kaki memiliki kemiringan 8%-15%. Penggunaan lahan lereng kaki didominasi oleh permukiman dan tegalan.

### Morfogenesis

Litologi DAS Tinalah dipengaruhi oleh gunungapi tua Menoreh yang merupakan gunungapi termuda yang membentuk pegunungan Progo Barat. Inti pegunungan Progo Barat tersusun oleh tiga gunungapi tua yang tidak aktif yaitu Gunungai Gajah, Gunungapi Idjo, dan Gunungapi Menoreh. Proses yang terjadi di Pegunungan Progo Barat setelah keluarnya magma secara berurutan adalah terjadinya *updoming*, *subsidence*, pengangkatan, terdenudasi, dan terakhir mengalami *updoming* kembali pada masa Pleistosen. Hasil dari proses tersebut menghasilkan beberapa batuan yang menyusun geologi DAS Tinalah. DAS Tinalah terdiri atas beberapa tipe batuan yaitu Formasi van Bemmelen (breksi andesit), Formasi Jonggrangan (batu gamping berlapis, *marls*, *tuffs*), Formasi Nanggulan (*sandstones*, *marls*, *limestone*, *tuffs*, sisipan lignit, konglomerat), alluvium, dan kolluvium.

### Morfokronologi

Secara garis besar, kronologi atau evolusi geologi pembentukan pegunungan Progo Barat. Menurut van Bemmelen (1970) dapat digambarkan sebagai berikut. Setelah masa eosen, gunungapi di Kulon Progo menjadi aktif; dimulai dari

Gunungapi Gajah dengan komposisi magma yang menghasilkan breksi *basaltic piroxene andesites*; disusul oleh aktivitas gunungapi Ijo dengan komposisi magma lebih asam yaitu *hornblende-augite andesites* dan juga intrusi dasit; disusul oleh gunungapi Menoreh dengan material breksi *hornblende-augite andesites* tanpa *lava flow* dan diakhiri oleh intrusi dasit hingga andesit hornblende (bukit Gandul) dan pembentukan dome. Pada masa miosen awal kompleks perbukitan Kulon Progo mengalami *subsidence* hingga di bawah muka air laut. *Subsidence* ini mengakibatkan terbentuknya formasi Jonggrangan (batu gamping berlapis, *marls, tuffs*); kemudian mengalami penenggelaman lagi di bagian selatan pada miosen tengah membentuk formasi Sentolo di bagian selatan. Pada masa pleistosen mengalami *doming up* hingga membentuk jajaran pegunungan dome.

Secara umum, DAS Tinalah banyak dipengaruhi oleh aktifitas gunungapi Menoreh dengan material breksi andesit dan patahan normal di selatan Gunung Jonggol. Proses ataupun evolusi geologi dan pengaruh iklim, organisme, dan air yang terjadi di Pegunungan Progo Barat menghasilkan bentuk yang khas di DAS Tinalah. Pelapukan merupakan salah satu hasil dari gabungan faktor-faktor yang mempengaruhi bentuk lahan.

### Morfoaransemen

Morfoaransemen merupakan posisi keruangan antara satu bentuk lahan dengan bentuk lahan yang lain. Dengan memperhatikan posisi antar suatu bentuk lahan maka material yang membentuk suatu bentuk lahan dapat diperkirakan.

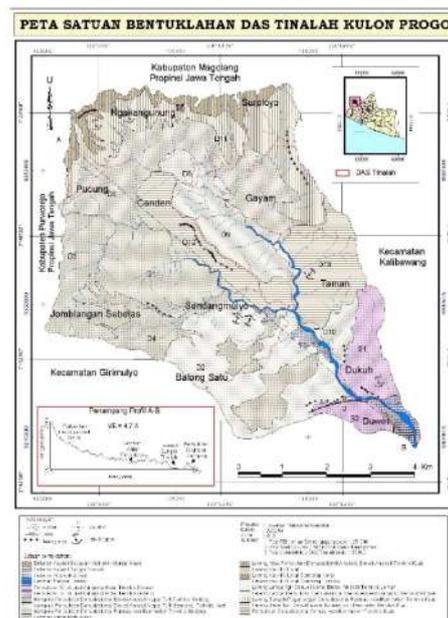
### Kondisi Bentuk lahan

Analisis kondisi geomorfologi daerah penelitian meliputi genesis bentuk lahan serta proses geomorfologi. Proses geomorfologi yang bekerja pada material batuan akan menghasilkan bentuk tertentu yang disebut dengan bentuk lahan. Proses geomorfologi tersebut terjadi akibat adanya tenaga geomorfologi yang menurut

Thornbury (1958), adalah media alami yang mampu mengikis dan mengangkut material batuan baik yang berupa air, angin, maupun gaya gravitasi. Kondisi geomorfologi daerah penelitian terjadi akibat adanya pengaruh proses yang mengakibatkan terjadinya bentuk lahan.

Bentuk lahan pada DAS Tinalah berupa bentuk asal proses fluvial, struktural, dan denudasional. Hasil proses struktural yang terjadi di DAS Tinalah ini sebagian besar telah mengalami proses eksogen sehingga berubah menjadi bentuk denudasional.

Peta satuan bentuk lahan DAS Tinalah disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta satuan bentuk lahan DAS Tinalah

Satuan bentuk lahan DAS Tinalah terbagi dalam 19 satuan bentuk lahan, meliputi:

1. Komplek Perbukitan Denudasional Formasi van Bemmelen Terkikis Sedang
2. Komplek Perbukitan Denudasional Breksi Andesit, Napal Tuff, Gamping Terkikis Kuat
3. Lereng Kaki Koluvial
4. Dataran Aluvial Sungai Tinalah
5. Lereng Kaki Koluvial Gamping Koral

6. Perbukitan Struktural Gamping Korall  
Terkikis Sedang
7. Lereng Tengah Pegunungan  
Denudasional Formasi van Bemmelen  
Terkikis Kuat
8. Perbukitan Struktural Gamping Korall  
Terkikis Ringan
9. Dataran Aluvial Endapan Vulkanik  
Merapi Muda
10. Lembah Sungai Tinalah
11. Lembah Antar Perbukitan
12. Dataran Fluvial-Koluvial
13. Perbukitan Denudasional Breksi  
Andesit Terkikis Kuat
14. Komplek Perbukitan Denudasional  
Breksi Andesit Napal Tuff Terkikis  
Sedang
15. Lereng Atas Perbukitan Denudasional  
Andesit, Breksi Andesit Terkikis Kuat
16. Lereng Landai Igir Denudasional Breksi  
Andesit Terkikis Lemah
17. Lereng Terjal Igir Denudasional Breksi  
Andesit Terkikis Kuat
18. Lereng Landai Perbukitan  
Denudasional Breksi Andesit, Gamping  
Korall Terkikis Ringan
19. Lereng Kaki Koluvial Gamping Tersisip

#### Morfometri DAS

Morfometri DAS merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan jaringan alur sungai secara kuantitatif. Analisis morfometri DAS pada penelitian ini lebih ditekankan pada analisis secara deskriptif dari DAS Tinalah.

#### Luas DAS (A)

Luas DAS dalam pembahasan ini adalah luas DAS yang dibatasi oleh igir pegunungan (pembatas topografi) yang berfungsi sebagai pemisah air (*water divided*) yang bertemu pada satu titik outlet (*single outlet*). Informasi luas DAS sangat penting perannya untuk mengetahui perkiraan air yang dihasilkan oleh DAS atau dapat dijadikan acuan untuk menganalisis debit puncak yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan. Semakin luas suatu DAS maka air hujan yang ditampung akan semakin besar.

Dalam penelitian ini, perhitungan luas DAS dilakukan dengan bantuan *software ArcGis*. Dari hasil perhitungan diperoleh perkiraan total luas DAS Tinalah sebesar 44,43 km<sup>2</sup>, termasuk DAS yang luas (lebih dari 10 km<sup>2</sup>).

#### Jumlah Orde Sungai (Nu)

Alur sungai dalam DAS dapat dibagi menjadi beberapa orde. Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai di dalam suatu DAS. Dengan demikian, semakin banyak jumlah orde sungainya maka DAS akan semakin luas dan semakin panjang pula alur sungainya. Hasil penentuan orde pada DAS Tinalah menunjukkan bahwa orde sungai tertingginya adalah orde 5 dengan jumlah total orde sungainya sebanyak 172 buah. Hasil analisis jumlah orde sungai ini, dapat dipakai untuk analisis morfometri DAS selanjutnya yaitu *Bifurcation Ratio* (Rb), Panjang Orde Sungai (Lu), *Mean Length of Stream* (L<sub>u</sub>) dan Jumlah Pertemuan Sungai. Tabel 1. menampilkan data jumlah sungai pada masing-masing orde.

Tabel 1. Jumlah sungai pada masing-masing orde

Orde Sungai	Jumlah Orde Sungai
1	136
2	25
3	8
4	2
5	1
Total	172

Sumber: (Hasil perhitungan, 2017)

#### Bifurcation Ratio (Rb)

Perhitungan nilai *Bifurcation Ratio* DAS Tinalah ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *Bifurcation Ratio* pada masing-masing orde

Orde sungai	Bifurcation Ratio
1	5,44
2	3,125
3	4
4	2

Sumber: (Hasil perhitungan, 2017)

Berdasarkan hasil perhitungan, terlihat adanya anomali nilai Rb. Pada dasarnya nilai Rb akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya orde sungai atau dapat dikatakan hubungan antara nilai Rb dengan orde sungai berbanding terbalik. Hal ini dengan pengertian bahwa jumlah sungai berorde satu paling banyak dan sungai yang sebagai outletnya merupakan orde terbesar dan hanya ada satu buah. Pada nilai Rb orde 3 DAS Tinalah dan DAS Kayangan terjadi kenaikan nilai Rb.

Pada orde 1 DAS Tinalah, nilai Rb lebih dari 5 yang berarti pada orde tersebut mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir dengan cepat. Hal ini disebabkan karena alur sungai orde 1 memiliki penampang yang kecil namun reliefnya curam. Kondisi yang berbeda terlihat pada orde 2 dan 3 pada DAS Tinalah yang menunjukkan kenaikan muka air banjir yang lambat namun penurunannya berlangsung cepat. Hal tersebut terkait penampang sungai yang mulai mengalami pelebaran dan reliefnya masih tergolong curam. Sedangkan pada orde 4 DAS Tinalah (nilai Rb kurang dari 3) mempunyai kecepatan aliran yang tinggi dengan kenaikan muka air banjir yang cepat dan penurunannya yang berjalan lambat. Hal ini karena jumlah alurnya sedikit sedangkan alur tersebut terdapat pada relief datar.

#### **Circulation Ratio (Rc)**

Nilai *Circulation Ratio* (Rc) DAS Tinalah adalah 0,558 atau dapat dikatakan memiliki bentuk yang membulat. Penentuan nilai Rc dapat digunakan untuk menganalisis tipe aliran sungai. Jika bentuk DAS membulat, maka aliran sungai didominasi tipe dendritik dengan bentuk lahan berupa bentukan denudasional. Terdapat kecocokan perhitungan nilai Rc jika didasarkan pada kondisi bentuk lahan DAS Tinalah.

#### **Panjang Sungai Utama (L)**

Panjang sungai utama (L) adalah panjang sungai yang diukur dari mulai *outlet* (hilir sungai) sampai pada *inlet* (hulu sungai). Panjang orde sungai (Lu) dihitung berdasarkan penjumlahan dari masing-

masing orde sungai. Proses perhitungan panjang sungai utama dan panjang orde pada penelitian ini dilakukan menggunakan bantuan *software ArcGis*. Hasil perhitungan diperoleh bahwa sungai Tinalah memiliki panjang sungai utama 13,02 km. Panjang sungai terkait dengan bentuk DAS. DAS yang membulat memiliki panjang sungai utama lebih kecil daripada panjang sungai utama pada DAS dengan bentuk yang memanjang.

#### **Kerapatan Alur Sungai (Dd)**

Hasil analisis kepadatan alur DAS Tinalah didapatkan nilai 2,77 km/km<sup>2</sup>. Hal ini berarti setiap satu km<sup>2</sup> bagian luas DAS Tinalah terdapat sungai sepanjang 2,77 km. Nilai Dd pada DAS Tinalah tergolong sedang (*normal condition*). Nilai Dd dapat digunakan untuk menganalisis gejala yang berhubungan dengan aliran sungai seperti resistensi batuan, kedap tidaknya batuan yang dilewati alur sungai, angkutan sedimen, dan pengaruh air hujan terhadap aliran. Alur sungai dari kedua DAS tersebut melewati batuan dengan resistensi yang keras. Hal ini mengakibatkan arus aliran sungai tidak mampu menggerus batuan sampai terbentuk alur sungai yang baru, sehingga jumlah alur tidak bertambah dan kerapatan alur sungainya tergolong sedang. Dampak lainnya, yaitu jumlah sedimen yang terangkut kecil (karena batuan resisten), nilai Dd yang kecil akan menghasilkan sedimen yang sedikit, begitu pula sebaliknya.

#### **Panjang dan Lebar DAS**

Panjang DAS diukur dari outlet sampai ke hulu sungai dengan jarak yang terjauh, sedangkan lebar DAS diukur dari nilai *Center of Gravity* (CG) dengan menarik garis yang tegak lurus garis dari CG sampai outlet. Adapun perhitungan ini dapat digunakan untuk penentuan pengambilan sampel dan petunjuk untuk melakukan survei. Panjang dari DAS Tinalah adalah 11,05 km dan lebarnya 5,44 km. Berdasarkan nilai yang didapat, terlihat bahwa panjang dan lebar DAS memiliki korelasi dengan nilai Rc. Perbandingan

antara panjang dan lebar DAS Tinalah tidak terlalu mencolok, sekitar setengahnya (11,05 berbanding 5,44). Dengan demikian bentuk DAS dapat diasumsikan membulat (bila tidak dicari nilai Rc). Terdapat kecocokan perhitungan antara nilai panjang dan lebar DAS dibandingkan dengan nilai Rc pada DAS Tinalah.

#### **Kemiringan Sungai (Sb) dan Kemiringan DAS (So)**

Hasil perhitungan kemiringan sungai (Sb) DAS Tinalah sebesar 6,8%, dan kemiringan rata-rata DAS (So) sebesar 43%. Pada prinsipnya, perhitungan kemiringan sungai maupun kemiringan DAS mirip dengan cara perhitungan kemiringan topografi. Kemiringan sungai dan kemiringan DAS dipengaruhi oleh panjang sungai, kondisi topografi setempat, dan luas DAS. Sungai Tinalah berada pada topografi perbukitan di sisi barat Kabupaten Kulonprogo. Hal tersebut menyebabkan kemiringan sungainya terbilang tinggi dan nilai kemiringan DAS juga tergolong tinggi, meskipun DAS Tinalah merupakan DAS yang luas. Pengaruh dari perhitungan nilai Sb dan So adalah kondisi sungai saat sungai mengalami banjir. Seperti disebutkan pada pembahasan sebelumnya, bahwa DAS Tinalah berbentuk membulat dengan kecepatan aliran banjir yang cepat, sehingga waktu untuk mencapai puncak banjir relatif singkat.

#### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi geomorfologi di DAS Tinalah sebagian besar merupakan perbukitan yang membentang dari utara hingga selatan dengan tingkat pengikisan bervariasi. Bentuk lahan pada DAS Tinalah berupa bentukan asal proses fluvial, struktural, dan denudasional.

2. Perhitungan morfometri DAS Tinalah sebagai berikut: Luas DAS (A) 44,43 km<sup>2</sup>, Jumlah Orde Sungai (Nu) pada orde 1 adalah 136, orde 2 berjumlah 25, orde 3 sebanyak 8, orde 4 dan 5 berjumlah 2 dan 1. Nilai *Bifurcation Ratio* (Rb) pada orde 1 adalah 5,44; orde 2 sebanyak 3,125; orde 3 dan 4 sejumlah 4 dan 2. Nilai *Circulation Ratio* (Rc) yaitu 0,558, Panjang Sungai Utama (L) sebesar 13,02 km. Nilai Kerapatan Sungai (Dd) 2,77 km/km<sup>2</sup>, Panjang dan Lebar DAS 11,05 km dan lebarnya 5,44 km. Kemiringan Sungai (Sb) 6,8%, dan Kemiringan DAS (So) 43%.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Harto BR, S., 1993, *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Seyhan, E., 1977, *Dasar-Dasar Hidrologi*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Thornbury, W. D., 1958, *Principles of Geomorphology*, New York: John Wiley Sons Inc.
- Van Bemmelen, R. W., 1970, *The Geology of Indonesia*, Government Printing Office The Hague.
- Zuidam, 1978, *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs A Geomorphological Approach*, ITC Textbook of Photo Interpretation, Vol. VII The Netherlands.

#### **BIODATA PENULIS**

**Septian Vienastra, S.Si., M.Eng.**, lahir di Yogyakarta tanggal 14 September 1985, menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Geografi Fisik dan Lingkungan dari UGM tahun 2008 dan pendidikan Magister Sistem Teknik dari UGM pada tahun 2013. Saat ini tercatat sebagai Tenaga Pengajar pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat geomorfologi dan geohidrologi.

## OTOMATISASI SIRKULASI AIR PADA INSTALASI AQUAPONIK DENGAN PANEL SURYA (SOLAR CELL) SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF

**Fifin Hindarti**

Teknik Energi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Yogyakarta  
Email: viendarti@yahoo.co.id

Masuk: 10 Juli 2018, Revisi masuk: 19 Juli 2018, Diterima: 20 Juli 2018

### **ABSTRACT**

*New and Renewable energy is not only an alternative energy that can meet increasing energy needs, but also green energy that does not cause harmful effects on humans and the environment such as energy derived from fossils. The application of solar cells as a source of electrical energy to modern agricultural systems, especially the aquaponics system is one of the efforts to develop new and renewable energy that is environmentally friendly. This research is a technological innovation that can cover the weaknesses of aquaponic systems in general by using solar panels to convert solar energy into electrical energy and equipped with water circulation automation technology so that the water needs are always guaranteed.*

*The design of automatic water circulation regulator hydroponic planting method uses a timer as an automatic, solar panels as energy converters, solar charge controller as a regulator of electric current balance. The implementation of this research consists of several stages, namely: the initial data collection stage, the system development stage, and the research data collection stage.*

*The results showed that the water pump in the aquaponic fish pond on the first, second and third days showed that the water pump was 12 V and the average flow of the fish pond water pump was 1.15 A. The data also showed that The highest measurement carried out for 3 days resulted in an average voltage of 12.68 V and a current of around 1.75 A, and the lowest measurement produced an average voltage of 12.42 V and a current of around 1.63 A. Based on the data in the study this, solar panels with a large 50 wp can meet the load requirements (water pump) to operate so that they can help circulate water in aquaponic installations.*

**Keywords:** *New and Renewable Energy, Solar Panels, Aquaponics, Automatic Water Circulation.*

### **INTISARI**

Energi baru dan terbarukan bukan hanya merupakan energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi yang semakin meningkat, tapi juga merupakan energi hijau yang tidak menimbulkan dampak berbahaya bagi manusia dan lingkungan seperti pada energi yang berasal dari fosil. Penerapan sel surya sebagai sumber energi listrik pada sistem pertanian modern, khususnya sistem aquaponik merupakan salah satu upaya untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan. Penelitian ini merupakan inovasi teknologi yang dapat menutupi kelemahan dari sistem akuaponik pada umumnya dengan menggunakan panel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dan dilengkapi dengan teknologi otomasi sirkulasi air agar kebutuhan air selalu terjamin ketersediaannya.

Perancangan pengatur sirkulasi air otomatis metode tanam hidroponik menggunakan timer sebagai otomatisnya, panel surya sebagai pengkonversi energi, *solar charge controller* sebagai pengatur keseimbangan arus listrik. Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu: tahap pengumpulan data awal, tahap pengembangan sistem, dan tahap pengumpulan data penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan pengujian dari pompa air pada kolam ikan metode aquaponik pada hari pertama, kedua dan ketiga menunjukkan tegangan beban (*water pump*) tersebut sebesar 12 V dan rata-rata arus dari pompa air kolam ikan sebesar 1,15

A. Data juga menunjukkan bahwa Pengukuran tertinggi yang dilakukan selama 3 hari menghasilkan rata-rata tegangan 12,68 V dan arus sekitar 1,75 A, dan pengukuran terendah menghasilkan rata-rata tegangan 12,42 V dan arus sekitar 1,63 A. Berdasarkan data yang ada dalam penelitian ini, panel surya dengan besar 50 wp dapat memenuhi kebutuhan beban (*water pump*) untuk beroperasi sehingga bisa membantu mensirkulasikan air pada instalasi aquaponik.

**Kata-kata kunci:** Energi baru dan Terbarukan, Panel Surya, Aquaponik, Sirkulasi Air Otomatis

## PENDAHULUAN

Pangan merupakan kebutuhan pokok bagi manusia, kebutuhan akan pangan sebagian besar dipenuhi dari sektor pertanian. Indonesia merupakan salah satu negara agraris di dunia sehingga sebagian besar penduduknya bekerja pada sektor pertanian. Jumlah penduduk yang semakin bertambah pesat, membuat lahan pertanian di Indonesia semakin sempit karena banyak penduduk yang merubah lahan pertaniannya menjadi rumah tempat tinggal warga. Banyak petani yang menjual lahan pertaniannya pada investor untuk dijadikan sebagai tempat industri, properti, dan pertokoan, karena ditawarkan dengan harga tinggi, maka petani merelakan lahannya untuk dijual kepada investor, sehingga ketersediaan lahan semakin menipis.

Dengan kondisi yang ada pada saat ini, mulailah masyarakat berpikir untuk membuat inovasi baru dalam sektor pertanian, salah satunya adalah optimalisasi lahan yang terbatas sebagai lahan produktif, yaitu pemanfaatan pekarangan melalui sistem budidaya tanaman yang dipadukan dengan budidaya ikan atau disebut akuaponik. Dalam sistem akuaponik, hasil ekskresi hewan yang terlarut dalam air dialirkan pada tanaman sebagai sumber nutrisi kemudian disirkulasi kembali pada sistem akuakultur dengan kualitas air yang lebih baik.

Teknologi sistem akuaponik diharapkan mereduksi terjadinya krisis pangan, Sistem akuaponik membutuhkan energi listrik untuk mengaktifkan *water pump* yang berfungsi sebagai penyedot air dari bak pemeliharaan ikan ke dalam bak yang berisi tanaman. Di tengah krisis energi yang sedang dihadapi saat ini maka perlu dilakukan diversifikasi energi

dengan memanfaatkan energi terbarukan yang salah satunya adalah energi matahari. Energi matahari bisa dijadikan solusi sebagai pemanfaatan energi terbarukan. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit yang dimanfaatkan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi listrik, PLTS tersusun oleh beberapa sel surya yang dipasang secara seri yang biasa disebut modul surya. PLTS mudah dalam perawatan dan efisien sehingga bisa digunakan untuk modifikasi sistem pertanian modern metode aquaponik.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan dalam penelitian ini yaitu : perancangan sebuah instalasi aquaponik dengan sistem sirkulasi air menggunakan pompa air secara otomatis dengan menggunakan panel surya (*solar cell*) sebagai sumber energi listrik alternatif yang mampu mengatasi permasalahan masyarakat dengan keterbatasan lahan untuk bercocok tanam.

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah merancang sebuah otomasi sirkulasi air menggunakan pompa air pada metode tanam aquaponik dengan menggunakan panel surya (*solar cell*) sebagai sumber energi listrik alternatif

Energi adalah kemampuan melakukan suatu kerja. Energi ini sendiri mempunyai berbagai bentuk salah satunya adalah energi matahari/ surya yang dapat meradiasiannya dalam bentuk cahaya. Energi surya dipancarkan dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik dengan spektrum panjang gelombang antara 0,3-2,6  $\mu\text{m}$ . Di luar atmosfer bumi konstanta surya (*solar constant*), yaitu jumlah daya yang menimpa satu satuan luas normal

terhadap radiasi pada jarak rata-rata bumi matahari adalah 1367 W/m<sup>2</sup> atau 1,96 kalori/(cm<sup>2</sup> menit). Di permukaan bumi pencahayaan ini (radiasi langsung dan difusi oleh atmosfer) memberikan konstanta yang lebih kecil yakni 1000 W/m<sup>2</sup>, atau sekitar 73,15 % dari konstanta surya. Apabila massa udara meningkat dan untuk daerah tampak dan ultraviolet menurun, hal ini biasanya dibahas sebagai tingkat turbiditas atau polusi atmosfer yang mempengaruhi kualitas radiasi surya.

*Sistem Photovoltaic (PV)* mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik. Sebuah sel surya atau PV terdiri dari bahan semikonduktor yang menyerap cahaya matahari. Energi matahari menghantam elektron-elektron lepas dari atomnya, memungkinkan elektron mengalir melalui bahan tersebut untuk menghasilkan listrik. Sel PV disatukan ke dalam modul yang menampung sekitar 40 sel. Kira-kira sepuluh modul-modul ini dipasang dalam PV arrays. PV arrays dapat dipakai untuk membangkitkan listrik untuk sebuah gedung atau dalam jumlah yang besar, bagi sebuah pembangkit daya. Suatu pembangkit tenaga listrik dapat pula memanfaatkan sistem tenaga surya yang terkonsentrasi, dengan memanfaatkan panas matahari untuk membangkitkan listrik. Cahaya matahari dikumpul dan difokuskan dengan cermin untuk menciptakan sumber panas berintensitas tinggi. Sumber panas ini memproduksi uap atau tenaga mekanis untuk menjalankan sebuah generator yang menghasilkan listrik.

### **Komponen Utama PLTS**

#### **Panel Surya (Solar Panel)**

*Solar Panel* mengkonversi tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon (*solar cells*) yang disinari matahari/surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah solarcells menghasilkan kurang lebih 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum). Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tegangan listrik sepanjang hari adalah 5 jam.

Tenaga listrik pada pagi-sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik bisa digunakan pada malam hari dimana tanpa sinar matahari. (<http://solarsuryaindonesia.com>)

#### **Solar Charge Controller**

*Solar Charge Controller* adalah komponen yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*Current Regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar / digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*OverCharge*), Ini mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Sebagian besar Solar PV 12 Volt menghasilkan tegangan keluar (V-Out) sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan yang umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian (*Charge*) sekitar 13-14,8 volt (Tergantung Tipe Battery) untuk dapat terisi penuh. (<http://solarsuryaindonesia.com>)

#### **Inverter**

*Inverter* adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (*DC – Direct Current*) menjadi arus listrik bolak balik (*AC – Alternating Current*). *Inverter* mengkonversi arus DC 12/24 volt dari sumber arus backup seperti batere, panel surya/ *solar cell* menjadi AC 220 volt setara PLN. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *inverter* diperlukan untuk menyediakan sumber arus AC untuk perangkat listrik seperti lampu, televisi, pompa air, dan lain-lain. (<http://solarsuryaindonesia.com>)

#### **Baterai**

*Accu* (baterai) merupakan salah satu alat yang dapat mengkonversikan energi listrik menjadi energi kimia, atau energi kimia menjadi energi listrik. *Accu* ini sering dikenal sebagai sel sekunder. Pada saat sel ini diisi atau dialiri arus listrik, maka arus listrik tersebut disimpan ke dalam bentuk energi kimia, dan pada saat sel ini dibebani dengan peralatan listrik, maka energi kimia yang tersimpan akan dirubah menjadi energi listrik.

Secara umum baterai diklasifikasikan menjadi dua yaitu primer dan sekunder.

#### **Dasar-Dasar Perencanaan PLTS**

Perencanaan PLTS memerlukan tiga masukan, yaitu:

- a. Karakteristik modul yang digunakan
- b. Radiasi surya ditempat penerapan
- c. Besar beban peralatan yang akan dipasang listrik.

Sistem sel surya dapat dibangun dalam berbagai ukuran atas dasar kebutuhan energinya. Selanjutnya sistem sel surya itu dapat dikembangkan dan ditingkatkan dengan mudah. Misalnya, bila kebutuhan energi semakin meningkat, cukup dengan jalan menambahkan modul surya, tentunya jika sumber dananya memungkinkan. Selain itu, sistem sel surya gampang untuk dipindahkan bila dipandang perlu. Maka kesimpulannya, keunggulan sistem sel surya itu keandalannya tinggi, biaya operasinya rendah, ramah lingkungan, berbentuk modul, dan biaya konstruksinya rendah

#### **Pertanian Modern**

Pertanian modern adalah praktek-praktek inovatif dan teknik yang berkembang untuk menghasilkan cukup makanan, bahan bakar, dan serat untuk dunia yang terus bertambah sementara pada saat yang sama meminimalkan dampak lingkungan. Pertanian modern menyediakan petani dengan inovasi baru, penelitian dan kemajuan ilmiah untuk menghasilkan produk yang aman, berkelanjutan, dan terjangkau (Motes, 2010). Dalam sistem pertanian modern petani menerapkan teknologi dan informasi untuk mengontrol sebagian besar komponen sistem, pertanian modern cenderung melihat keberhasilan hubungan saling ketergantungan antara sumber daya, teknologi, manajemen, investasi, pasar, dan dukungan politik pemerintah (Motes, 2010).

#### **Hidroponik**

Hidroponik merupakan sebutan untuk sebuah teknologi bercocok tanam tanpa menggunakan tanah. Media untuk menanam digantikan dengan media tanam lain seperti rockwool, arang sekam, zeolit, dan berbagai media yang

ringan dan steril untuk digunakan. Hal yang terpenting pada hidroponik adalah penggunaan air sebagai pengganti tanah untuk menghantarkan larutan hara ke dalam akar tanaman.

Hidroponik sebenarnya berasal dari bahasa Yunani yaitu *hydroponick*. Kata *hydroponick* merupakan gabungan dari dua kata, yaitu *hydro* yang artinya air dan *ponos* yang artinya bekerja. Hidroponik merupakan proses pengerjaan dengan air, yaitu merupakan sistem penanaman dgn media tanam yang banyak mengandung air (Sameto, 2003).

Budidaya tanaman hidroponik dilakukan di dalam *greenhouse*. *Greenhouse* sering diartikan sebagai rumah kaca, namun saat ini penggunaan kaca sudah banyak digantikan dengan plastik karena harganya yang lebih murah dan mudah didapat. Penggunaan *greenhouse* pada dasarnya untuk melindungi tanaman dari faktor alam seperti cuaca yang ekstrim (angin kencang, intensitas hujan dan radiasi matahari yang tinggi), gangguan hama, serta melindungi tanaman dari kelembaban yang tinggi. Penggunaan *greenhouse* membuat tanaman terlindungi dari serangan hama sehingga dapat dihindari penggunaan pestisida dan produk yang dihasilkan menjadi lebih sehat.

#### **Aquaponik**

Aquaponik adalah bentuk khusus dari *Recirculating Aquaculture System* yakni pemeliharaan tanaman dengan media air (hidroponik), yang disusun pada sirkulasi air yang sama dengan media budidaya ikan. Tujuan utama dari aquaponik adalah memanfaatkan nutrisi yang dilepaskan oleh ikan untuk menumbuhkan tanaman, sehingga keberadaan nutrisi tersebut dalam media budidaya tidak mengganggu pertumbuhan ikan (Graber and Junge, 2009). Teknologi aquaponik terbukti mampu berhasil memproduksi ikan secara optimal pada lahan sempit dan sumber air terbatas, termasuk di daerah perkotaan (Ahmad dkk., 2007).

Aquaponik adalah teknik budidaya tanaman menggunakan air sebagai media tanam dan ikan sebagai pemasok

bahan dasar hara/nutrisi bagi tanaman. Sistem pertanian aquaponik sangat sederhana/ simple, sekali bergerak langsung bisa dikerjakan semuanya supaya bisa mengoptimalkan lahan dan dapat bermanfaat ekonomis. Aquaponik terdiri dari dua bagian utama, yakni bagian akuatik (air) untuk pemeliharaan hewan air dan bagian hidroponik untuk menumbuhkan tanaman. Sistem akuatik menghasilkan sisa pakan dan feses yang terakumulasi di dalam air dan bersifat toksis (racun) terhadap hewan air, namun kaya nutrisi yang dapat menjadi sumber hara bagi tanaman dalam sistem hidroponik di atasnya.

Pada sistem ini, dengan luasan lahan yang sama akan dapat dihasilkan dua komoditas sekaligus, yakni sayuran dan ikan. Budidaya sayuran, secara langsung akan didukung oleh sistem di bawahnya (ikan) yang menghasilkan sisa pakan dan kotoran yang mengandung hara konsentrasi tinggi yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman di atasnya. Media tanaman dan tanaman yang berada di atasnya akan menyaring air dan mempertahankan kualitas air yang berada di bawahnya. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas air kolam akan tetap baik, bebas dari sisa pakan dan kotoran ikan, sehingga akan mendorong pertumbuhan ikan menjadi baik.

Teknologi ini pada prinsipnya di samping menghemat penggunaan lahan dan air juga meningkatkan efisiensi usaha melalui pemanfaatan hara dari sisa pakan dan metabolisme ikan, serta merupakan salah satu sistem budidaya ikan yang ramah lingkungan. Penerapan aquaponik merupakan jawaban dari efisiensi air dan penghematan lahan budidaya serta tambahan pendapatan (income) dari hasil panen tanaman (Widyastuti, 2008).

### **Teknologi Otomasi**

Otomasi adalah teknologi yang memanfaatkan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem komputer untuk mengoperasikan dan mengendalikan operasi. Dengan berkembangnya teknologi elektronik dan komputer, maka otomasi adalah kelanjutan dari mekanisasi, otomasi adalah usaha untuk

membantu manusia dari usaha mentalnya dalam mengoperasikan dan mengendalikan operasi dari suatu proses.

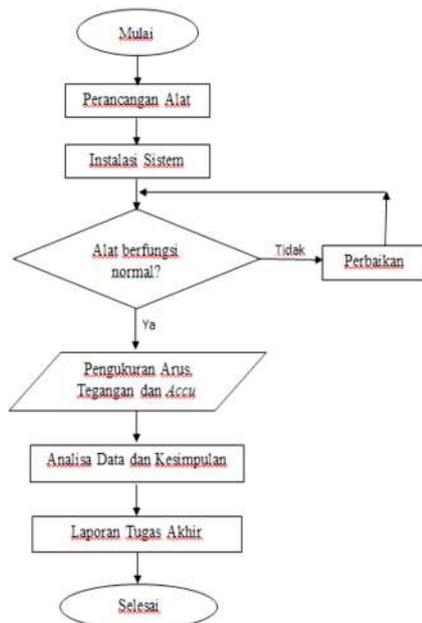
Pengendalian (*control tasks*) meliputi: menghidupkan/menyalakan (*command*), mematikan/menghentikan (*command*), dan mengatur parameter proses, seperti gerakan, posisi, aliran, kecepatan, temperatur, level, tekanan dan lainnya (*measure, control* atau *regulate*). Inti dari sistem kontrol otomatis modern sekarang adalah elektronik, dan dengan berkembangnya teknologi komputer, teknologi informasi dan komunikasi dimungkinkan dirancangnya sistem otomatis yang kompleks dan fleksibel.

### **Metodologi Penelitian**

Penelitian ini merupakan inovasi teknologi yang dapat menutupi kelemahan dari sistem aquaponik pada umumnya dengan pemanfaatan energi terbarukan, yaitu memanfaatkan tenaga radiasi matahari dengan menggunakan panel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dan dilengkapi dengan teknologi otomasi sirkulasi air agar kebutuhan air selalu terjamin ketersediaannya. Pelaksanaan program ini terdiri dari beberapa tahap yaitu: tahap pengumpulan data awal, tahap pengembangan sistem, dan tahap pengumpulan data penelitian. Alat dan bahan yang digunakan pada tahap pengambilan data adalah:

- a. *Solar cell*
- b. *Charge control*.
- c. Baterai atau aki
- d. Beban (*water pump*)
- e. Relay
- f. Komponen elektronika (resistor, transistor)
- g. Kabel penghantar
- h. Instalasi aquaponik
- i. *Tool kit*
- j. Multitester, tang ampere, Lux meter
- k. Timer

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

dilakukan dengan menggunakan alat bantu Lux meter. Gambar 2 menunjukkan instalasi aquaponik dengan otomatisasi sirkulasi air.



Gambar 2. Instalasi aquaponik dengan otomatisasi sirkulasi air

Penghitungan besarnya nilai rata-rata tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya dan baterai (Accu), dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$V_{panel} = \frac{V1+V2+V3+V4}{4} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{panel} = \frac{I1+I2+I3+I4}{4} \dots\dots\dots(2)$$

**PEMBAHASAN**

Proses pengambilan data dilakukan selama tiga hari, pengambilan data

**Penelitian Hari Pertama**

Penelitian dilakukan dengan pengujian pompa kolam aquaponik untuk pegukuran tegangan dan arus dari panel surya dan baterai serta beban. Pengujian pertama, kedua, dan ketiga dilakukan selama tiga hari berturut-turut, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Data hari pertama

Jam	Intensitas Cahaya (lux)	Cuaca	Panel Surya		Baterai (accu)		Beban (pompa)	
			V	I	V	I	V	I
09.00	82.100	Cerah	12,2	1,5	11,5	1,0	12	1,0
11.00	94.000	Cerah	13,0	2,0	12,3	1,0	12	1,0
13.00	91.300	Cerah	12,7	1,7	12,2	1,0	12	1,0
15.00	34.400	Cerah	12,2	1,5	11,5	1,0	12	1,0

Tabel 2. Data hari kedua

Jam	Intensitas Cahaya (lux)	Cuaca	Panel Surya			Baterai (accu)		Beban (pompa)	
			V	I	V	I	V	I	
09.00	85.200	Cerah	12,2	1,5	11,5	1,0	12	1,0	
11.00	06.800	Cerah	13,5	2,0	12,6	1,0	12	1,0	
13.00	92.000	Cerah	12,8	2,0	12,2	1,0	12	1,0	
15.00	38.400	Cerah	12,2	1,5	11,5	1,0	12	1,0	

Tabel 3. Data hari ketiga

Jam	Intensitas Cahaya (lux)	Cuaca	Panel Surya		Baterai (accu)		Beban (pompa)	
			V	I	V	I	V	I
09.00	82.000	Cerah	12,2	1,5	11,5	1,0	12	1,0
11.00	94.040	Cerah	13,0	1,8	12,3	1,0	12	1,0
13.00	91.800	Cerah	12,8	1,7	12,2	1,0	12	1,0
15.00	34.000	Cerah	11,7	1,5	10,5	1,0	12	1,0

Berdasarkan Tabel 1 data pada hari pertama diketahui tegangan panel surya pada jam 09.00 dengan intensitas cahaya sebesar 82.100 lux adalah 12,2 V dan arus 1,5 A. Tegangan panel surya pada jam 11.00 dengan intensitas cahaya sebesar 94.000 lux adalah 13 V dan arus 2 A. Tegangan panel surya pada jam 13.00 dengan intensitas cahaya sebesar 91.300 lux adalah 12,7 V dan arus 1,7 A. Tegangan panel surya pada jam 15.00 menunjukkan 34.400 lux adalah 12,2 V dan arus 1,5 A.

Berdasarkan Tabel 1 rata-rata arus dan tegangan yang didapatkan dari panel surya sebagai berikut:

$$V_{panel} = \frac{V1 + V2 + V3 + V4}{4}$$

$$= \frac{12,2 + 13 + 12,7 + 12,2}{4}$$

$$= 12,53 V$$

$$I_{panel} = \frac{I1 + I2 + I3 + I4}{4}$$

$$= \frac{1,5 + 2,0 + 1,7 + 1,5}{4}$$

$$= 1,68 A$$

Dari perhitungan tersebut, dapat diketahui rata-rata tegangan panel surya dengan intensitas cahaya 94.000 lux-34.400 lux sebesar 12,53 V. Untuk arus yang mengalir pada panel dengan intensitas yang sama mencapai 1,68 A.

#### Penelitian Hari Kedua

Berdasarkan Tabel 2 data pada hari kedua diketahui tegangan panel surya pada jam 09.00 dengan intensitas cahaya sebesar 85.200 lux adalah 12,2 V dan arus 1,5 A. Tegangan panel surya pada jam 11.00 dengan intensitas cahaya sebesar 96.800 lux adalah 13,5 V dan arus 2,0 A. Tegangan panel surya

pada jam 13.00 dengan intensitas cahaya sebesar 92.000 lux adalah 12,8 V dan arus 2 A. Tegangan panel surya pada jam 15.00 menunjukkan 35.300 lux adalah 12,2 V dan arus 1,5 A.

Berdasarkan tabel 2 di atas rata-rata arus dan tegangan yang didapatkan dari panel surya sebagai berikut:

$$V_{panel} = \frac{V1 + V2 + V3 + V4}{4}$$

$$= \frac{12,2 + 13,5 + 12,8 + 12,2}{4}$$

$$= 12,68 V$$

$$I_{panel} = \frac{I1 + I2 + I3 + I4}{4}$$

$$= \frac{1,5 + 2,0 + 2,0 + 1,5}{4}$$

$$= 1,75 A$$

Dari perhitungan tersebut, dapat diketahui rata-rata tegangan panel surya dengan intensitas cahaya 96.800 lux-35.300 lux sebesar 12,68 V. Untuk arus yang mengalir pada panel dengan intensitas yang sama mencapai 1,75 A.

#### Penelitian Hari Ketiga

Berdasarkan Tabel 3 data pada hari ketiga diketahui tegangan panel surya pada jam 09.00 dengan intensitas cahaya sebesar 82.000 lux adalah 12,2 V dan arus 1,5 A. Tegangan panel surya pada jam 11.00 dengan intensitas cahaya sebesar 94.090 lux adalah 13 V dan arus 2 A. Tegangan panel surya pada jam 13.00 menunjukkan 91.800 lux adalah 12,8 V dan arus 2 A. Tegangan panel surya pada jam 15.00 dengan intensitas cahaya sebesar 34.000 lux adalah 11,7 V dan arus 1,5 A.

Dari Tabel 3 rata-rata arus dan tegangan yang didapatkan dari panel surya sebagai berikut:

$$V_{panel} = \frac{V1 + V2 + V3 + V4}{4}$$

$$= \frac{12,2 + 13,0 + 12,8 + 11,7}{4}$$

$$= 12,42 V$$

$$I_{panel} = \frac{I1 + I2 + I3 + I4}{4}$$

$$= \frac{1,5 + 1,8 + 1,7 + 1,5}{4}$$

$$= 1,63 A$$

Dari perhitungan tersebut, dapat diketahui rata-rata tegangan panel surya dengan intensitas cahaya 82.000 lux-34.000 lux sebesar 12,62 V. Untuk arus yang mengalir pada panel dengan intensitas yang sama mencapai 1,63 A.

Hasil pengujian dari pompa air pada kolam ikan metode aquaponik pada hari pertama, kedua dan ketiga menunjukkan tegangan beban (*water pump*) tersebut sebesar 12 V dan rata-rata arus dari pompa air kolam ikan sebesar 1,0 A. Hasil pengukuran rata-rata tegangan dan arus pada baterai dalam instalasi aquaponik pada hari pertama adalah sebesar 11,88 V dan rata-rata arus sebesar 1,0 A. Hasil pengukuran rata-rata tegangan dan arus pada baterai dalam instalasi aquaponik pada hari kedua adalah sebesar 11,95 V dan rata-rata arus sebesar 1,0 A. Hasil pengukuran rata-rata tegangan dan arus pada baterai dalam instalasi aquaponik pada hari ketiga adalah sebesar 11,63 V dan rata-rata arus sebesar 1,0 A.

Dari data hasil pengukuran terhadap besarnya arus beban (*water pump*) dibandingkan dengan arus pada panel surya dapat dilihat bahwa panel surya dengan besar 50 wp dapat memenuhi kebutuhan beban (*water pump*) untuk beroperasi atau dalam hal ini bisa membantu mensirkulasikan air pada instalasi aquaponik.

Ketika panel surya menghasilkan arus yang melebihi kebutuhan beban, maka sisanya akan dialirkan ke baterai (accu) untuk pengisian dan pada saat arus dari panel surya tidak cukup untuk menanggung beban, maka baterai akan menutup kekurangan arus yang

dibutuhkan beban, dengan menggunakan rumus (3) berikut,

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

P : Daya panel surya, watt

V : Tegangan panel surya, volt

I : Arus panel surya, ampere

Maka dapat dianalisis besar daya yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil penelitian yang dilakukan tampak pada Tabel 1 sampai Tabel 3, yaitu pengukuran arus dan tegangan listrik panel surya, sehingga dapat dilakukan analisis perolehan daya pada kondisi terendah saat tegangan sebesar 11,7 volt, arus sebesar 1,5 ampere dan intensitas cahaya bernilai 34.000 lux maka daya yang dihasilkan sebesar 17,55 watt ini terjadi saat sore hari, dan pada kondisi tertinggi saat tegangan sebesar 13,5 volt, dan arus sebesar 2 ampere serta intensitas cahaya bernilai 96.800 lux maka daya yang dihasilkan sebesar 27 watt, ini terjadi saat siang hari. Daya yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan hasil analisis perolehan daya panel surya dapat dilihat pada Tabel 4, 5, dan 6.

Tabel 4. Daya Panel Surya Hari ke-1

Jam	Intensitas cahaya (lux)	Panel Surya		
		V	I	P
09.00	82.100	12,2	1,5	18,30
11.00	91.300	13,0	2,0	26,00
13.00	94.000	12,7	1,7	21,59
15.00	34.400	12,2	1,5	18,30

Tabel 5. Daya Panel Surya Hari ke-2

Jam	Intensitas cahaya (lux)	Panel Surya		
		V	I	P
09.00	85.200	12,2	1,5	18,30
11.00	96.800	13,5	2,0	27,00
13.00	02.000	12,8	2,0	25,60
15.00	38.400	12,2	1,5	18,30

Tabel 6. Daya Panel Surya Hari ke-3

Jam	Intensitas cahaya (lux)	Panel Surya		
		V	I	P
09.00	82.000	12,2	1,5	18,30
11.00	94.040	13,0	1,8	23,40
13.00	91.800	12,8	1,7	21,76
15.00	34.400	11,7	1,5	17,55

Seperti terlihat pada Tabel 4, 5, dan 6, yaitu tabel perhitungan daya panel surya, maka intensitas cahaya dan cuaca mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya. Semakin tinggi intensitas cahaya maka daya yang dihasilkan oleh panel surya semakin besar.

Intensitas cahaya pada penelitian ini mempengaruhi tegangan, arus yang keluar dari panel surya dan ketahanan *accu* untuk bekerja saat panel sudah tidak mendapat sinar matahari. Semakin besar intensitas cahaya semakin besar juga tegangan dan arusnya, sebaliknya jika kecil intensitasnya maka mengurangi arus dan tegangan yang masuk ke *accu* atau beban.

### KESIMPULAN

1. Pengujian yang dilakukan dalam kurun waktu 3 hari, untuk pengukuran di waktu pagi hari dengan intensitas yang tinggi rata-rata menghasilkan tegangan 12,2 V dan arus sekitar 1,5 A dan sore hari rata-rata menghasilkan tegangan 12,03 V dan arus sekitar 1,5 A.
2. Pengukuran tertinggi yang dilakukan selama 3 hari menghasilkan rata-rata tegangan 12,68 V dan arus sekitar 1,75 A, dan pengukuran terendah menghasilkan rata-rata tegangan 12,42 V dan arus sekitar 1,63 A.
3. Perolehan daya pada kondisi terendah saat tegangan sebesar 11,7 volt, arus sebesar 1,5 ampere dan intensitas cahaya bernilai 34.000 lux maka daya yang dihasilkan sebesar 17,55 watt dan pada kondisi tertinggi saat tegangan sebesar 13,5 volt, dan arus sebesar 2 ampere serta intensitas cahaya bernilai 96.800 lux maka daya yang dihasilkan sebesar 27 watt.
4. Dalam penelitian ini panel surya dengan besar 50 wp dapat memenuhi kebutuhan beban (*water pump*) untuk beroperasi sehingga bisa membantu mensirkulasikan air pada instalasi aquaponik.

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu pengembangan dalam hal penangkapan cahaya matahari oleh panel surya menggunakan sistem

penjejak matahari, agar cahaya yang ditangkap bisa maksimal, sehingga daya keluaran juga maksimal.

2. Perlu dikembangkan lebih lanjut suatu instalasi aquaponik yang bisa dipantau kondisinya secara realtime
3. Energi terbarukan harus terus dikembangkan sehingga bisa konsumsi listrik dari PLN bisa diminimalisir.
4. Meningkatkan pemanfaatan energi yang melimpah dari sinar matahari sebagai sumber energi alternatif untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, T., Sofiarsih, L., and Kusmana, 2007, The Growth of Patin *Pangasius Hypophthalmus* in Close System Tank, *Aquaculture journal*, Vol. 2., No. 1, pp. 67-73.
- Graber dan Junge R., 2009, *Aquaponic System: Nutrient Recycling From Fish Waste Water by Vegetable Production*. Desalination, Vol. 246, pp. 147-156.
- Motes, W. C., 2010, *Modern Agriculture and Its Benefits-Trends, Implications and Outlook*, *Jurnal Global Harvest Initiative, Sustainable Meeting The World's Growing*.
- Sameto, H, 2003, *Hidroponik Sederhana Penyejuk Ruang*, Jakarta: Penebar Swadaya.
- Solar Surya Indonesia, 2012, *Tenaga Surya*, <http://solarsuryaindonesia.com>.
- Widyastuti, Y. R., 2008, Peningkatan Produktifitas Air Tawar Melalui Budidaya Ikan Sistem Akuaponik, *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV*, LIPI, Bogor, hal. 62-73. [http://solarsuryaindonesia.com/tenaga\\_surya](http://solarsuryaindonesia.com/tenaga_surya), diakses pada 12 Juni 2017.

### BIODATA PENULIS

**Fifin Hindarti, S.Pd.T., M.T.** lahir di Yogyakarta tanggal 9 Februari 1978, menyelesaikan pendidikan D3 pada bidang Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2002, S1 pada bidang Pendidikan Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2005, dan S2 bidang Teknik Sistem/Teknologi

Pengelolaan dan Pemanfaatan Limbah/Sampah Perkotaan dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2007. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Energi, Institut Teknologi Yogyakarta dengan bidang minat ilmu bahan dan teknologi bahan; elektronika daya; teknik tenaga listrik, dan instrumen, alat bantu dan alat ukur.

## PURIFIKASI BIOGAS MENGGUNAKAN PELET SEKAM PADI TERAKTIVASI UNTUK MENINGKATKAN KONSENTRASI CH<sub>4</sub> DALAM BIOGAS

Rosiana Indrawati<sup>1</sup>, Joko Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Energi Institut Teknologi Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>rosiana.indrawati@gmail.com, <sup>2</sup>jks\_alan@yahoo.co.id

Masuk: 12 Juli 2018, Revisi masuk: 20 Juli 2018, Diterima: 21 Juli 2018

### ABSTRACT

*The availability of fossil fuels as the main supplier of national energy is increasingly expensive and limited. Biogas appears as an alternative energy source. The purity of CH<sub>4</sub> produced by biogas becomes very important, because it affects the calorific value produced. This study aims to determine the effect of biogas purification using rice husk pellet adsorbent on CH<sub>4</sub> content in biogas. The independent variable is the height of the adsorbent 5 cm, 10 cm and 15 cm. Contact time is 30 minutes, 60 minutes and 90 minutes. While the controlled variables include activation of adsorbents with heating temperatures of 120°C. The dependent variable observed was the percentage of CH<sub>4</sub> content before and after purification. Sampling was carried out on day 20. Based on the gas chromatography test results showed that the largest CH<sub>4</sub> gas content was found in SPWT90TA5 purification reactor, rice husk adsorbent namely 5 cm adsorbent height variation and 90 minutes residence time which was 32,393 with a percentage of CH<sub>4</sub> content increase of 260.3% from the initial content of CH<sub>4</sub> gas before the purification process which was 8.99. And the lowest CH<sub>4</sub> gas content is in the SPWT60TA 10 sample which is 6.252 or reduced by 30% from the initial CH<sub>4</sub> content before purification is carried out. The conclusion is that biogas purification using rice husk pellet adsorbent can adsorb impurities in biogas and increase methane levels in biogas.*

**Keyword:** Adsorbent, Biogas, CH<sub>4</sub>, Purification, Rice husk.

### INTISARI

Ketersediaan bahan bakar fosil sebagai pemasok utama energi nasional semakin mahal dan terbatas. Biogas muncul sebagai salah satu sumber energi alternatif. Kemurnian dari CH<sub>4</sub> yang dihasilkan oleh biogas menjadi sangat penting, karena berpengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh pemurnian biogas menggunakan adsorben pelet sekam padi terhadap kandungan CH<sub>4</sub> dalam biogas. Variabel bebas berupa ketinggian isian adsorben 5 cm, 10 cm dan 15 cm. Waktu kontak 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Sedangkan variabel terkontrol antara lain aktivasi adsorben dengan pemanasan suhu 120°C. Variabel terikat yang diamati adalah persentase kandungan CH<sub>4</sub> sebelum dan pasca purifikasi. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke 20. Berdasarkan hasil uji gas kromatografi menunjukkan Kandungan gas CH<sub>4</sub> terbesar terdapat pada reaktor pemurnian SPWT90TA5 adsorben sekam padi yaitu variasi tinggi adsorben 5 cm dan waktu tinggal 90 menit yaitu sebesar 32,393 dengan persentase kenaikan kandungan CH<sub>4</sub> sebesar 260,3% dari kandungan awal gas CH<sub>4</sub> sebelum proses pemurnian yaitu 8,99. Dan kandungan gas CH<sub>4</sub> terendah yaitu pada sampel SPWT60TA 10 yaitu 6,252 atau berkurang 30% dari kandungan CH<sub>4</sub> awal sebelum purifikasi dilakukan. Kesimpulan bahwa pemurnian biogas dengan menggunakan adsorben pelet sekam padi dapat menyerap gas pengotor dalam biogas dan menaikkan kadar metan dalam biogas.

**Kata-kata kunci:** Adsorben, Biogas, CH<sub>4</sub>, Purifikasi, Sekam padi.

## PENDAHULUAN

Bahan bakar energi fosil saat ini sudah mengalami penurunan. Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui menjadikan munculnya inovasi teknologi untuk menggantikan energi bahan bakar fosil menjadi sumber energi alternatif ramah lingkungan. Biogas menjadi salah satu alternatif teknologi yang menghasilkan bahan bakar ramah lingkungan karena berasal dari biomassa, sampah organik, limbah cair organik, sisa makanan, daun-daunan dan kotoran hewan.

Dari aktivitas anaerobik oleh bakteri metana, biogas mampu menghasilkan gas-gas seperti  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan gas-gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ), karena  $\text{CH}_4$  mempunyai nilai kalor yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Kandungan  $\text{CH}_4$  yang murni dalam biogas dapat mempengaruhi kualitas biogas dalam pengaplikasiannya sebagai sumber energi. Di dalam biogas, terdapat kandungan impuritas-impuritas seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  yang dapat mengganggu kinerja gas metan. Sehingga impuritas-impuritas tersebut harus dihilangkan dengan pemurnian.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh purifikasi biogas dengan menggunakan pelet sekam padi teraktivasi untuk meningkatkan kadar gas metan.

Tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah memperoleh gambaran secara real tentang pengaruh purifikasi biogas menggunakan adsorben pelet sekam padi terhadap peningkatan kadar metan dalam biogas, memberikan data pengaruh variasi tinggi adsorben dan lama waktu kontak terhadap pemurnian biogas dengan menggunakan pelet sekam padi teraktivasi.

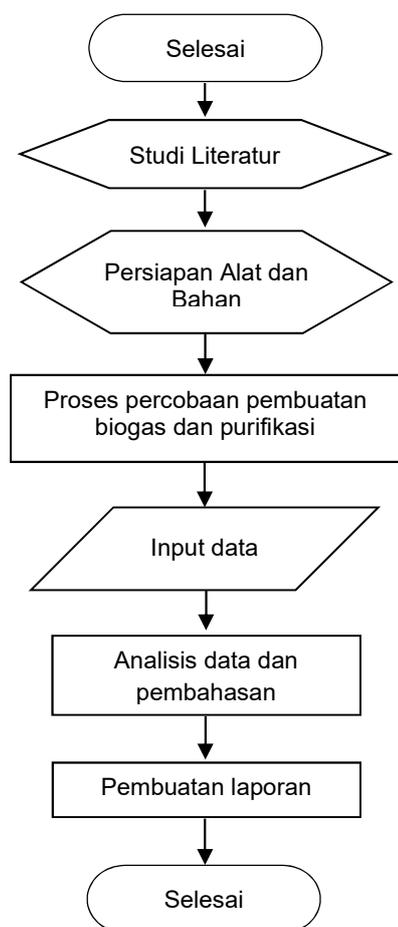
Menurut Pabby dkk (2009), komposisi biogas tergantung pada sumber bahan bakunya. Proses pemurnian biogas menggunakan membran sangat baik pada tekanan operasi 5-7 bar. Menurut Mara (2012), pemilihan metode yang cocok untuk pemisahan  $\text{CO}_2$  dari campurannya tergantung pada beberapa

parameter, yaitu: konsentrasi  $\text{CO}_2$  di aliran umpan, sifat alami komponen umpan, tekanan dan temperatur. Menurut Kapdi dkk (2005), ada beberapa metode pemurnian biogas ( $\text{CO}_2$  removal), antara lain: absorpsi fisika, absorpsi kimia, adsorpsi, pemisahan dengan membran, cryogenic dan konversi kimia menjadi senyawa lain. Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu liquid. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan liquid yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya.

Dua kriteria suatu teknologi pemisahan akan dipilih jika pertimbangan secara teknis dan ekonomis mudah dilakukan. Absorpsi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu absorpsi fisika yang disebabkan oleh gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi untuk membentuk cairan yang ada pada permukaan adsorben) dan absorpsi kimia (terjadi reaksi antara zat yang diserap oleh adsorben, banyaknya zat yang teradsorpsi tergantung pada sifat khas zat tersebut). Besar kecilnya adsorpsi dipengaruhi oleh macam adsorben, macam zat yang teradsorpsi, konsentrasi adsorben dan zat, luas permukaan, temperatur dan tekanan zat yang teradsorpsi.

Adsorpsi dipakai untuk menyatakan bahwa ada zat lain yang terserap pada zat itu, misalnya karbon aktif dapat menyerap molekul-molekul asam asetat dalam larutannya. Tiap partikel adsorban dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik-menarik. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya efektif tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar yaitu 25-100% terhadap karbon aktif (Arifin, 2010).

Gambar 1 menampilkan diagram alir langkah penelitian.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

### Pembuatan Reaktor Biogas

Pembuatan reaktor gas dimulai dengan menyiapkan drum plastik volume 26 liter sebanyak 1 buah yang kemudian pada tutup bagian atas dilubangi seukuran pipa diameter 1,5 inci. Selanjutnya disiapkan pipa PVC diameter 1,5 inci sepanjang  $\pm 50$  cm dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibuat tadi, dan menyisakan 10 cm dibagian atas tutup drum plastik dan pada bagian lubang diberi perekat lem tetes dipasang dop agar dipastikan tidak terdapat celah untuk masuknya udara karena kebocoran. Lubang ini berfungsi sebagai lubang *feedstock* atau lubang inlet. Berjarak 5 cm dari pipa *feedstock* dibuat lubang kecil untuk saluran gas dengan menggunakan selang waterpass. Dibagian bawah drum sekitar 5 cm dari bawah drum dibuat lubang kecil seukuran pipa diameter 0,5" dan diberi pipa beserta

dengan dop. Lubang ini berfungsi sebagai pipa outlet untuk mengeluarkan *slurry* dan cairan sisa proses fermentasi, Berjarak 30 cm di atas pipa outlet dibuat lubang untuk dimasuki pipa ukuran 0,5" yang berfungsi untuk saluran *overflow*.

Pembuatan penampung gas dilakukan dengan menyiapkan ban mobil bekas yang dihubungkan dengan selang gas yang terhubung dengan digester.

Penyiapan bahan kotoran sapi ditimbang masing-masing 1 : 1 kemudian dimasukkan ke dalam ember dan ditambahkan air limbah RPH kemudian diaduk rata selama 15 menit, selanjutnya dimasukkan ke dalam lubang *feedstock* menggunakan gayung dan corong.

### Pembuatan Alat Purifier Biogas

Pembuatan alat filter ini menggunakan pipa PVC berukuran 1 1/4". Proses pembuatan dimulai dengan pengukuran panjang pipa, pipa yang akan digunakan sepanjang 40 cm dengan diameter 1 1/4". Selanjutnya dilakukan penggergajian untuk memotong pipa, lalu dibersihkan bagian pipa pada kedua ujungnya menggunakan amplas dan kikir. Dop yang digunakan untuk menutup kedua ujung pipa yang dilubangi bagian tengahnya. Bagian yang telah dilubangi kemudian dibersihkan dengan menggunakan kikir. Sumbat karet dimasukkan pada bagian tengah dop tersebut lalu dikencangkan kemudian dilem tetes. Bahan-bahan yang sudah disatukan kemudian pada sela-sela sambungannya dilapisi dengan lem pipa dan lem tetes untuk menghindari resiko kebocoran.

Reaktor kemudian dipasang di bagian atas digester biogas yang dihubungkan dengan pipa keluaran gas. Pipa keluaran gas yang menuju reaktor pemurnian dilengkapi dengan kran untuk membuka tutup aliran gas. Begitu gas tertampung dalam penampung gas dari bahan ban bekas, kran tersebut dibuka untuk mengalirkan gas menuju ke reaktor pemurnian kemudian diambil sampel sesuai variasi yang ditetapkan.

Gambar 2 menampilkan reaktor biogas dan purifier.



Gambar 2. Reaktor biogas dan purifier

#### **Pembuatan Pelet Sekam Padi**

Pembuatan pelet sekam padi dan sekam padi dimulai dengan mencari bahan-bahan tersebut. Sekam padi diambil di daerah sentra pembuatan batu bata di Plered, Bantul. Sekam padi terlebih dahulu dicuci dengan menggunakan aquadest agar bersih dari kotoran yang menempel pada permukaan sekam. Setelah itu, sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari sampai daunnya mengering dan layu. Setelah itu dikeringkan lagi kemudian dibuat cetakan bola-bola kecil dengan menggunakan perekat tepung kanji dengan berat komposisi masing-masing 400 gram sekam padi dan 150 gram tepung tapioka yang dilarutkan dengan air kemudian dipanaskan sehingga dapat digunakan sebagai perekat pelet.

Proses selanjutnya setelah terbentuk bulatan-bulatan pelet sekam padi kemudian dipanaskan dengan menggunakan oven pada suhu  $120^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dan mengaktifkan permukaan pelet agar dapat menyerap zat-zat pengotor yang terkandung dalam biogas.

#### **Proses Pemurnian Menggunakan Pelet Sekam Padi**

Proses selanjutnya, dibuka kran gas agar gas dapat mengalir ke bagian reaktor pemurnian biogas. Setelah 15 menit dari waktu kran dibuka, kemudian

dilakukan pengambilan sampel gas dengan masing-masing tabung waktu kontaknya 30, 60 dan 90 menit. Sampel gas yang diambil dengan menggunakan spuit kemudian dimasukkan ke dalam tabung vinoxek untuk selanjutnya dianalisis kadar metan dalam biogas. Analisis kadar metan dilakukan di Laboratorium Analisis Instrumentasi Departemen Teknik Kimia UGM.

Selanjutnya dipasang filter penyaring yang sudah dirakit dengan cara dihubungkan pada instalasi biogas. Penempatannya diletakkan setelah tutup kran gas dengan posisi filter sedikit ke atas.

Setelah itu selang dipasang pada reaktor biogas yang disambungkan pada kantong penampung gas yang dibuat dari ban bekas. Gas yang terbentuk dialirkan ke dalam filter. Setelah dipastikan sudah ada gas yang terbentuk, kemudian gas dialirkan ke dalam penampung. Pengambilan gas pada penampung gas harus dilakukan dengan hati-hati supaya gas yang diambil tidak tercampur dengan gas udara luar. Kemudian dilakukan pengujian sampel gas di Laboratorium untuk mengetahui kadar gas  $\text{CH}_4$ .

Proses penyaringan dilakukan sebanyak 10 kali, dengan ketinggian bed 5 cm dan waktu kontak 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Selanjutnya diulang untuk ketinggian bed 10 cm dan waktu kontak 30, 60, dan 90 menit. Proses penyaringan ketiga dilakukan dengan ketinggian bed 15 cm dengan waktu kontak yang sama dengan sebelumnya.

#### **Tahap Pengujian**

Pada tahap pengujian, gas yang dihasilkan diuji menggunakan gas analyzer *Gas chromatograph* untuk diuji presentase kandungan  $\text{CH}_4$  dalam biogas sesudah proses purifikasi.

### **PEMBAHASAN**

#### **Kandungan Biogas Tanpa Proses Purifikasi**

Berdasarkan hasil analisa gas metan pada biogas tanpa purifikasi diperoleh nilai sebesar 8,99%. Hasil tersebut merupakan sampel biogas yang tidak melewati proses purifikasi dengan menggunakan pelet sekam padi dan sekam padi. Nilai konsentrasi tersebut sangatlah

rendah, kemungkinan disebabkan oleh proses dekomposisi bahan organik yang tidak optimal. Beberapa penyebab proses berjalan tidak optimal antara lain: kebocoran pada digester ataupun pada penampung gas, bahan material pembuatan biogas memiliki C/N rasio yang rendah, komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair RPH yang tidak sesuai.

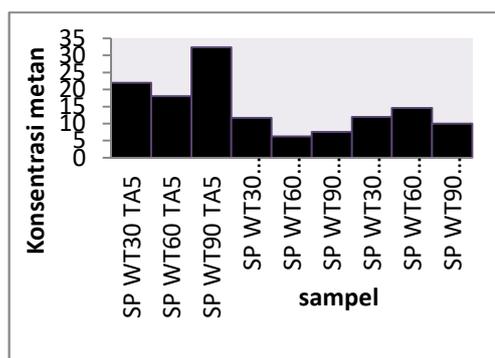
### Kandungan Biogas dengan Purifikasi Menggunakan Pelet Sekam Padi

Untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan adsorben pelet sekam padi terhadap kandungan metana di dalam biogas, maka dilakukan pengujian dengan Gas Kromatografi. Dari pengujian kandungan metana diperoleh hasil sebagaimana tampak pada Tabel 1.

Tabel 1 Kandungan gas metan dengan purifikasi menggunakan pelet sekam padi

No	Sampel	Konsentrasi Metan (%)
1	SP WT30 TA5	22,032
2	SP WT60 TA5	18,020
3	SP WT90 TA5	32,393
4	SP WT30 TA10	11,656
5	SP WT60 TA10	6,252
6	SP WT90 TA10	7,554
7	SP WT30 TA15	11,963
8	SP WT60 TA15	14,640
9	SP WT90 TA15	10,004

Sumber: (Hasil observasi, 2018)



Gambar 3. Persentase kandungan gas metan dengan purifikasi dengan pelet sekam padi

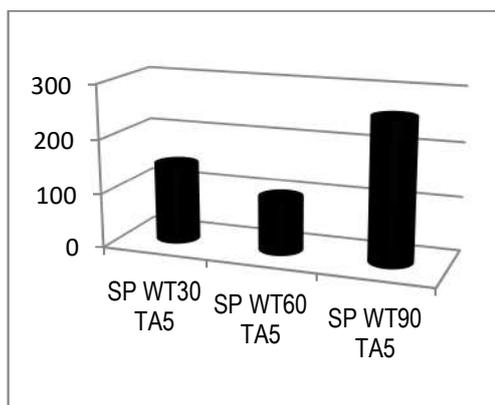
Dari hasil pengujian kandungan metana yang terkandung di dalam biogas dengan alat Gas Kromatografi terlihat

bahwa dengan melewati biogas melalui kolom adsorben akan menyebabkan kandungan metananya menjadi meningkat dibanding biogas yang tidak melewati kolom adsorben. Kenaikan kandungan metana dalam biogas yang dihasilkan tergantung dari adsorben yang digunakan.

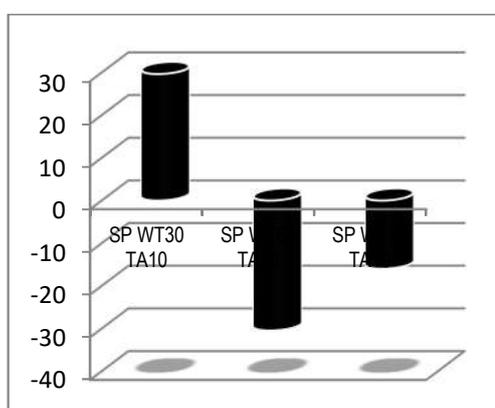
Data pada Tabel 1 menunjukkan persentase perubahan konsentrasi CH<sub>4</sub> karena penggunaan pelet sekam padi pemurni biogas pada tiap-tiap variasi. Variasi yang digunakan adalah lama waktu kontak dan tinggi adsorben. Konsentrasi terbesar terdapat pada taraf perlakuan SPWT90TA5 yaitu sebesar 32,393 dengan persentase kenaikan kandungan metan sebesar 260,32%. Pada ketinggian adsorben yang sama yaitu 5 cm, dengan waktu tinggal 60 menit mengalami penurunan konsentrasi gas metan menjadi 18,020 atau berkurang sebesar 100% dari kandungan metan mula-mula. Terjadinya penurunan kandungan gas metan pada SPWT 60TA5 kemungkinan disebabkan oleh aliran biogas menuju reaktor pemurnian mengalami gangguan. Hal yang sama juga terjadi pada reaktor pemurnian dengan tinggi adsorben 10 cm dengan variasi waktu 30, 60, dan 90 menit.

Pembuatan campuran serbuk sekam padi dan tepung kanji dalam bentuk pelet memiliki beberapa pertimbangan, pertimbangan tersebut antara lain adalah kemudahan pembuatan campuran (bentuk pelet), material yang dihasilkan kuat (tidak berubah menjadi debu/serbuk). Pemilihan pelet juga bertujuan untuk menjaga agar aliran gas dapat melalui alat pemurni, karena apabila digunakan dalam bentuk serbuk maka kemungkinan besar dapat menyumbat aliran biogas (Wahono dkk, 2010).

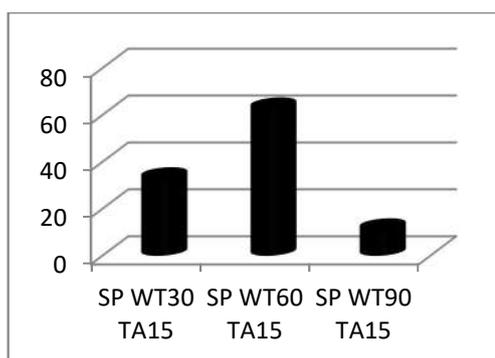
Gambar 4 menampilkan persentase perubahan konsentrasi gas metan variasi tinggi adsorben 5 cm, untuk variasi variasi tinggi adsorben 10 cm ditampilkan pada Gambar 5, sedangkan untuk variasi variasi tinggi adsorben 15 cm ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 4. Persentase perubahan konsentrasi gas metan variasi tinggi adsorben 5 cm



Gambar 5. Persentase perubahan konsentrasi gas metan variasi tinggi adsorben 10 cm



Gambar 6. Persentase perubahan konsentrasi gas metan variasi tinggi adsorben 15 cm

Kenaikan kandungan metana di dalam biogas setelah dilewatkan kolom adsorben tersebut di atas disebabkan oleh terserapnya gas-gas lain yang terkandung

di dalam biogas. Kandungan Karbondioksida akan bereaksi dengan gugus OH pada pemurni pelet sekam padi sehingga akan menurun persentasenya di dalam biogas, akibatnya persentase gas metana akan meningkat. Demikian juga ketika kolom adsorben diisi dengan pelet sekam padi terbukti bahwa kandungan gas metana dalam biogas meningkat lagi. Hal ini bisa terjadi karena pelet sekam padi yang sudah diaktivasi dengan pemanasan mampu menyerap gas-gas pengotor yang ada dalam biogas. Hal ini seperti dikemukakan oleh Ahmadi dkk (1997). Aktivasi secara fisik berupa perlakuan panas pada adsorben dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori adsorben, mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul, meningkatkan luas permukaan pori adsorben dan meningkatkan porositasnya, sehingga secara keseluruhan akan meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Semakin banyak gas-gas yang terserap, maka peningkatan kandungan gas metana dalam biogas juga akan semakin tinggi. Aroma biogas saat sebelum purifikasi dan setelah purifikasi juga mengalami perubahan. Aroma biogas tidak terlalu menyengat setelah proses purifikasi

Pemurnian biogas dari kandungan zat-zat pengotor seperti  $\text{CO}_2$  dan  $\text{N}_2$  merupakan tindakan yang penting, karena kandungan  $\text{CO}_2$  dalam biogas masih cukup tinggi. Dienuh (2011) menjelaskan Kemurnian  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dari biogas tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting, hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap nilai kalor/panas yang dihasilkan, sehingga biogas yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian. Dalam hal ini gas yang mempengaruhi nilai kalor/panas adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Sebagaimana diketahui keberadaan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dapat menurunkan nilai kalor pada pembakaran biogas, sedangkan keberadaan gas hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dapat menjadi zat yang bersifat korosif jika terbakar. Metode pemurnian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode adsorpsi. Sukarta (2008) menjelaskan adsorpsi merupakan terjerapnya

suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben. Pelet sekam padi mengandung komponen lapisan dalam. Komponen lapisan dalam tersebut terbagi dalam fraksi karbohidrat yang terdiri atas selulosa dan hemiselulosa, sedangkan fraksi non karbohidrat terdiri atas lignin (Fengel & Wegener, 1995).

Struktur hemiselulosa dan selulosa mempunyai gugus OH terikat yang dapat bereaksi dengan adsorbat. Gugus OH pada selulosa dan hemiselulosa menyebabkan sifat polar pada adsorben. Budiono dkk (2009) menjelaskan bahwa gas CO<sub>2</sub> memiliki sifat lebih permeable dengan gas CH<sub>4</sub> karena gas CH<sub>4</sub> merupakan senyawa non polar. Sifat CO<sub>2</sub> dan air (H<sub>2</sub>O) yang lebih polar menyebabkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dapat terjerap pelet sekam padi yang mempunyai kandungan selulosa dan hemiselulosa. Selulosa dan hemiselulosa dalam pelet sekam padi mempunyai sifat lebih kuat menjerap zat yang bersifat polar.

Mekanisme penjerapan tersebut dapat dibedakan menjadi dua yaitu, jerapan secara fisika (fisorpsi) dan jerapan secara kimia (kemisorpsi) (Atkins, 1999). Kemisorpsi merupakan adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi fisik. Adsorpsi fisik merupakan mendekatnya adsorbat ke permukaan adsorben, setelah adsorbat mendekat pada adsorben kemudian dalam adsorpsi kimia partikel yang melekat pada permukaan bereaksi membentuk ikatan kimia.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Pemurnian biogas menggunakan adsorben pelet sekam padi dapat meningkatkan kandungan gas metan pada biogas campuran kotoran sapi dan limbah cair Rumah Pematangan Hewan (RPH).
- Kandungan gas CH<sub>4</sub> terbesar terdapat pada reaktor pemurnian SPWT90TA5 adsorben Sekam Padi yaitu variasi tinggi adsorben 5 cm dan waktu tinggal 90 menit yaitu sebesar 32,393 dengan persentase kenaikan kandungan CH<sub>4</sub> sebesar 260,3% dari kandungan awal gas

CH<sub>4</sub> sebelum proses pemurnian yaitu 8,99. Kandungan gas CH<sub>4</sub> terendah yaitu pada sampel SPWT60TA 10 yaitu 6,252 atau berkurang 30% dari kandungan CH<sub>4</sub> awal sebelum purifikasi dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, K. G. S., Hastuti, P., Tranggono, 1997, *Aktivasi Zeolit Alam dan Penggunaannya untuk Pemurnian Tokoferol dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Arifin, 2010, *Dekolorisasi Air yang Mengandung Zat Warna Tekstil Dengan Metode Koagulasi Poly Aluminium Chloride dan Adsorpsi*.
- Budiono, A., Suhartana, Gunawan, 2009, Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat untuk Adsorpsi Fenol, *E-Journal Universitas Diponegoro*, Hal. 1-12.
- Fengel, D., Wegener, G., 1995, Kayu: Kimia, *Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*, Edisi Terjemahan, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kapdi, S. S., Vijay, V. K., Rajesh, S.K., Prasad, R., 2005, Biogas Scrubbing, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context, *Renewable Energy*, Vol. 30, pp. 1196-1199.
- Mara, I. M., 2012, Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi, *Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 1, Hal. 38-46.
- Pabby, Anil K, S. S. H. Rizvi A. M. Sastre, 2009 *Handbook of Membrane 0.00 10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 1;1 1;3 1;5 1;7% Yield Gas Methana Rasio Starter dengan Limbah Organik (Molases) Nurjannah, La Ifa, Fitra Jaya, Muhtar Lamo, Produksi Bahan Bakar Gas Biomassa 94 Separations Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*, CRC Press Taylor & Francis Group, New York, pp. 66-100.
- Sukarta, I. N., 2008, Adsorpsi Ion Cr<sup>3+</sup> oleh Sebuk Gergaji Kayu Albizia (Albizia Falcata): Studi

Pengembangan Bahan Alternatif  
Penyerap Limbah Logam Berat,  
*Tesis*, IPB, Bogor.

Wahono, S. K., Maryana, R., Kismurtono,  
M., Nisa, K., Poeloengasih, C.D.,  
2010, Modifikasi Zeolit Lokal  
Gunungkidul Sebagai Upaya  
Peningkatan Performa Biogas Untuk  
Pembangkit Listrik, *Prosiding Seminar  
Rekayasa Kimia dan Proses*, ISSN:  
1411-4216.

#### **BIODATA PENULIS**

**Rosiana Indrawati, S.T., M.Eng.**, lahir di  
Sukoharjo pada tanggal 22 Desember  
1985, menyelesaikan Pendidikan S1  
bidang Teknik Lingkungan dari  
Universitas Diponegoro Semarang  
tahun 2009, dan S2 bidang Magister  
Sistem Teknik Konsentrasi Teknologi  
Pengelolaan dan Pemanfaatan  
Sampah dan Limbah Perkotaan dari  
Universitas Gadjah Mada tahun 2011.  
Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap  
Program Studi Teknik Energi di  
Institut Teknologi Yogyakarta (STTL-  
YLH) dengan bidang minat bioenergi,  
pengelolaan dan penyediaan air  
bersih, pengelolaan air limbah,  
AMDAL/UKL-UPL, dan audit  
lingkungan.

**Joko Susilo, S.T., M.T.**, lahir di  
Gunungkidul pada tanggal 28 Agustus  
1970, menyelesaikan pendidikan S1  
bidang Ilmu Lingkungan dari Sekolah  
Tinggi Teknik Lingkungan Yogyakarta  
tahun 2006, dan S2 bidang Ilmu  
Lingkungan dari Sekolah Tinggi  
Teknik Lingkungan Yogyakarta tahun  
2012. Saat ini bekerja sebagai Dosen  
Tetap Program Studi Teknik Industri  
di Institut Teknologi Yogyakarta  
(STTL-YLH) dengan bidang minat  
teknologi hijau, material teknik, dan  
perancangan organisasi.

## PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH MAKAN DENGAN SISTEM KOMBINASI PRESIPITASI-AEROBIC BIOFILTER

Purnawan<sup>1</sup>, Angge Dhevi Warisaura<sup>2</sup>, Agnes Setyaningrum<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>purnawan@akprind.ac.id, <sup>2</sup>angge@akprind.ac.id,  
<sup>3</sup>agnessetyaningrum@gmail.com

Masuk: 12 Juli 2018, Revisi masuk: 21 Juli 2018, Diterima: 22 Juli 2018

### ABSTRACT

*Restaurant business lately is rapidly developing in big cities along with the many requests by people who want food service with fast, practical and food variation. One of problem that arises due to increased restaurant / restaurant activities is the contamination of water sources.*

*Waste water containing organic can decompose or be degraded by microorganisms so if the waste water thrown into a body of water it will increase the population of microorganisms, and that will increase the BOD level, then the soap will cause an increase in the pH of the water. According to Government Regulation No. 82 of 2001 concerning Water Management and Water Pollution Control, there are domestic waste water is required to be processed first before being discharged into public channels and meeting quality standards according to the Decree of the Minister of Environment Number: Kep-51/MENLH/10/1995 while for activities in the DIY area the quality standard refers to Yogyakarta Special Province Regional Regulation Number 10 Year 2017.*

*From the results of the research conducted, the optimum conditions for the Saponification process in addition of 17 ml / 1000 ml NaOH waste obtained fat/oil content of 8.7 mg / L and pH 11.35 with the jar test results to determine the volumetric coagulant dose (Aluminum sulfate 5 %) is 15 ml / 300 ml of waste and results of Turbidity 8.2 NTU, Color 189 PtCo and pH 7.5, for the optimum time of the aerobic biofilter process for 8 hours with the results of BOD analysis 24.12 mg/L, COD 42, 34 mg / L and Fat / oil 4.2 mg/L it has fulfilled the quality standard according to Decree of the Minister of Environment No. Kep-51 / MENLH / 10/1995.*

**Keywords:** *Precipitation-aerobic biofilter, Restaurant waste, Saponification.*

### INTISARI

Usaha rumah makan belakangan ini sangat berkembang pesat di kota-kota besar seiring banyaknya permintaan oleh masyarakat yang menginginkan jasa servis makanan yang cepat, praktis dan bervariasi. Salah satu masalah yang timbul akibat meningkatnya kegiatan rumah makan/restoran adalah tercemarnya air pada sumber-sumber air

Air limbah yang mengandung bahan organik dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme sehingga bila dibuang ke badan air akan meningkatkan populasi mikroorganisme, sehingga akan menaikkan kadar BOD sedangkan sabun akan mengakibatkan naiknya pH air. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dimana diwajibkan semua air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran umum serta memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.: Kep-51/MENLH/10/1995 sedangkan untuk kegiatan yang berada di wilayah DIY baku mutu mengacu pada Perda DIY Nomor 10 Tahun 2017.

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil kondisi optimum proses Saponifikasi pada penambahan NaOH 17 ml/1000 ml limbah didapatkan kadar lemak/minyak 8,7 mg/L serta pH 11,35 dengan hasil uji jar tes untuk mengetahui dosis volumetrik koagulan (Aluminium sulfat 5%) adalah 15 ml/300 ml limbah dan didapatkan hasil Kekeruhan 8,2 NTU, Warna 189 PtCo serta pH 7,5, untuk waktu optimum proses

*aerobic biofilter* selama 8 jam dengan hasil analisa BOD 24,12 mg/L, COD 42,34 mg/L dan lemak/minyak 4,2 mg/L dan telah memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.: Kep-51/MENLH/10/1995.

**Kata-kata kunci:** Limbah rumah makan, Presipitasi-biofilter aerob, Saponifikasi.

## PENDAHULUAN

Berdasarkan tingkat kepadatan penduduk dan laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, maka air limbah domestik di lingkungan pemukiman untuk masa yang akan datang potensial menjadi ancaman yang cukup serius terhadap pencemaran lingkungan perairan yang disebabkan oleh limbah cair yang dihasilkan.

Limbah cair atau air limbah adalah air yang tidak terpakai lagi, yang merupakan hasil dari berbagai kegiatan manusia sehari-hari. Pada umumnya limbah cair dibuang ke dalam tanah, sungai danau dan laut. Jika jumlah air limbah yang dibuang melebihi kemampuan alam untuk menerima atau menampungnya, maka akan terjadi kerusakan lingkungan.

Berbagai kasus pencemaran lingkungan dan memburuknya kesehatan masyarakat yang banyak terjadi dewasa ini diakibatkan oleh limbah cair dari berbagai kegiatan industri, rumah sakit, pasar, restoran hingga rumah tangga. Hal ini disebabkan karena penanganan dan pengolahan limbah tersebut belum mendapatkan perhatian yang serius

Usaha rumah makan/*restoran* belakangan ini sangat berkembang pesat di kota-kota besar seiring banyaknya permintaan oleh masyarakat yang menginginkan jasa servis makanan yang cepat, praktis dan bervariasi. Salah satu masalah akibat meningkatnya kegiatan rumah makan adalah tercemarnya air pada sumber-sumber air.

Saat ini pencemar paling dominan di badan air adalah air limbah domestik yang persentasinya bisa mencapai 60-70%. Air limbah domestik terdiri dari parameter BOD, TSS, pH, minyak dan lemak yang apabila keseluruhan parameter tersebut dibuang langsung ke badan air, akan mengakibatkan pencemaran air. Oleh karena itu sebelum dibuang ke badan air, harus diolah terlebih dahulu sehingga dapat memenuhi standar baku mutu yang

berlaku. Sumber utama air limbah rumah makan/*restoran* tidak jauh berbeda dengan air limbah catering, yaitu berasal dari pencucian peralatan makanan, air buangan dan sisa makanan, seperti lemak, nasi, sayuran dan lain-lain. Air sabun bekas pencucian peralatan makanan serta sisa makanan yang dibuang berpotensi mengandung fosfor serta bahan organik lainnya.

Air limbah yang mengandung bahan organik dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme sehingga bila dibuang ke badan air akan meningkatkan populasi mikroorganisme, sehingga akan menaikkan kadar BOD sedangkan sabun yang mengakibatkan naiknya pH air. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dimana diwajibkan semua air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran umum serta memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.: Kep-51/MENLH/10/1995 sedangkan untuk kegiatan yang berada di wilayah DIY baku mutu mengacu pada Perda DIY Nomor 10 Tahun 2017.

Melihat kondisi air limbah yang dihasilkan di atas, perlu dilakukan penelitian tentang teknologi pengolahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air buangan pada rumah makan. Penelitian tentang pengolahan limbah cair rumah makan sudah banyak dilakukan, diantaranya:

1. Pengolahan limbah cair rumah makan menggunakan sistem kombinasi ABR dan Wetland dengan sistem kontinyu (Mardianto, dkk., 2010).
2. Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik (Zahra dan Purwanti, 2015).

Dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, masih terdapat kendala pada pemisahan dan terakumulasinya lemak dan minyak yang

merupakan bahan organik dan mengakibatkan timbulnya bau karena proses pembusukan, hal ini merupakan problematika tersendiri setelah proses pengolahan dilakukan.

Secara teori, air limbah adalah sisa air yang digunakan dalam industri atau rumah tangga yang dapat mengandung zat tersuspensi dan zat terlarut. Air limbah adalah air yang dikeluarkan oleh industri akibat proses produksi dan pada umumnya sulit diolah karena biasanya mengandung beberapa zat seperti : pelarut organik zat padat terlarut, suspended solid, minyak dan logam berat (Metcalf & Eddy, 1993).

Kontaminan utama limbah cair rumah makan berasal dari bahan makanan, proses memasak dan tahap pembersihan peralatan, dan dari toilet. Dengan demikian limbah rumah makan berupa bahan-bahan organik, dan bahan pencuci (sabun/deterjen). Senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair rumah makan berupa karbohidrat, protein, lemak dan minyak (Ketaren, 2005).

Jika ditinjau dari Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, maka limbah cair rumah makan memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang keperairan umum karena telah melebihi baku mutu yang ditetapkan, yaitu sebesar 50-150 mg/l untuk BOD5 dan 100-300 mg/l untuk COD.

Teknologi pengolahan limbah cair rumah makan yang ada saat ini pada umumnya berupa pengolahan limbah sistem anaerob. Dengan proses biologis anaerob, efisiensi pengolahan hanya sekitar 70-80 %, sehingga air olahannya masih mengandung kadar polutan organik cukup tinggi, serta bau yang ditimbulkan dari sistem anaerob dan tingginya kadar fosfat merupakan masalah yang belum dapat diatasi.

Di dalam perkembangannya dilakukan dengan cara kombinasi proses biologis anaerob-aerob yakni proses penguraian anaerob dan diikuti dengan proses pengolahan lanjut dengan sistem biofilter anaerob-aerob. Dengan kombinasi proses tersebut diharapkan

konsentrasi COD dalam air olahan yang dihasilkan turun menjadi 60 ppm, namun demikian lemak dan minyak yang terpisahakan menimbulkan permasalahan tersendiri karena lemak dan minyak merupakan bahan organik yang mudah membusuk dan menimbulkan bau.

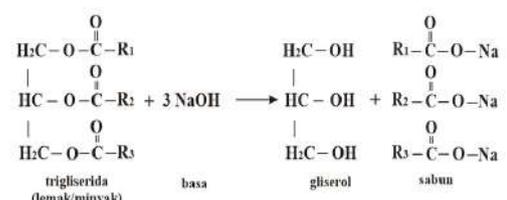
Dalam penelitian ini limbah cair rumah makan dilakukan pengolahan dengan sistem kombinasi presipitasi-biofilter aerobik yang merupakan salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah cair rumah makan yang perlu dilakukan pengkajian.

Pengolahan pendahuluan diperlukan untuk menyeragamkan kualitas limbah dengan cara pengadukan, hal ini mengingat secara umum limbah rumah makan kualitasnya tidak stabil tergantung dari aktifitas rumah makan itu sendiri.

Pengolahan primer merupakan pengolahan inti dari sistem pengolahan air limbah rumah makan, pengolahan primer melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

a) *Saponifikasi* (penyabunan)

Saponifikasi adalah reaksi yang terjadi ketika minyak atau lemak dicampur dengan larutan alkali. Ada dua produk yang dihasilkan dalam proses ini, yaitu sabun dan gliserin. Secara teknik, sabun adalah hasil reaksi kimia antara fatty acid dan alkali. Fatty acid adalah lemak yang diperoleh dari lemak hewan dan nabati (Prawira, 2010). Gambar 1 menampilkan reaksi penyabunan.



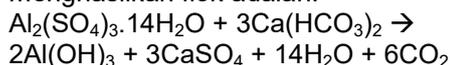
Gambar 1. Reaksi penyabunan

b) *Presipitasi*

Presipitasi adalah proses reaksi terbentuknya endapan di dalam sebuah larutan hasil dari reaksi kimia. Presipitasi ini biasanya terbentuk ketika konsentrasi ion yang larut telah mencapai batas kelarutan dan hasilnya membentuk endapan garam, salah satunya adalah

dengan proses koagulasi dan flokulasi (Tchobanoglous dkk., 2003).

Dosis volumetrik koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum, jenis koagulan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ). Reaksi kimia untuk menghasilkan flok adalah:



### c) *Aerobic Biofilter*

Air limbah yang telah bebas dari minyak dan lemak dialirkan ke alat pengolahan melalui lubang pemasukan (inlet) masuk ke pengendapan awal. Selanjutnya air limpasan dari bak pengendapan awal air dialirkan ke zona *aerobic biofilter*.

Di dalam bak aerob limbah akan kontak dengan media berpori dan diaerasi dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media hal ini dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi. Proses ini sering dinamakan aerasi kontak (Said, 2001).

Menyikapi permasalahan di atas, salah satu solusi yang diusulkan adalah melakukan optimalisasi pengolahan air limbah rumah makan dengan melakukan penelitian dan kajian untuk mendapatkan teknologi alternatif yang efektif dan efisien dalam rangka tetap meningkatkan sosial ekonomi masyarakat serta menjaga kelestarian lingkungan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis pengolahan limbah cair rumah makan dengan kombinasi sistem presipitasi-biofilter aerobik sebagai salah satu alternatif teknologi pengolahan limbah cair rumah makan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknologi alternatif pengolahan limbah cair rumah makan dengan kombinasi sistem presipitasi-biofilter aerobik.

## METODOLOGI

Limbah cair rumah makanan yang telah dibersihkan dari kotoran yang terikut dilakukan pengadukan selama beberapa menit, kemudian ditambahkan NaOH hingga pH mencapai kisaran 10 – 11 dan selanjutnya dilakukan uji jar test dengan menambahkan aluminium sulfat pada perbandingan tertentu (variabel 1).

Setelah dilakukan proses fokulasi dan didapatkan kondisi optimum, limbah dialirkan dengan kecepatan tertentu dalam rangkaian Biofilter aerob pada selang waktu tertentu (variabel 2), hasil outlet dianalisa untuk parameter pH, warna, kekeruhan, BOD, COD, dan kadar lemak/minyak

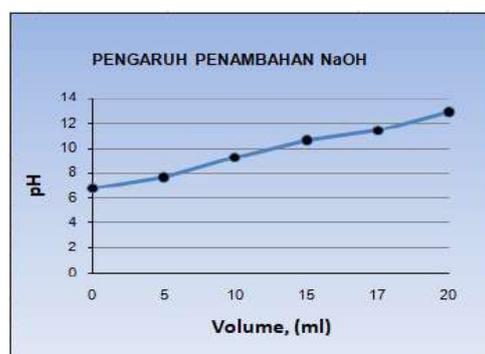
## PEMBAHASAN

### Proses Saponisasi

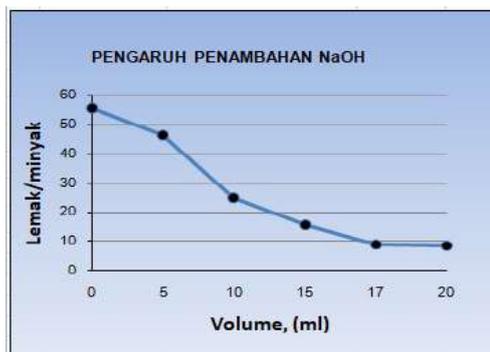
Proses saponisasi dilakukan untuk mereaksikan lemak/minyak yang terdapat dalam air limbah menggunakan soda (NaOH) 10%. Hasil proses Saponisasi terhadap 1000 ml limbah untuk parameter pH dan lemak/minyak seperti pada Tabel 1 dan grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 1: Hasil saponisasi air limbah terhadap pH dan lemak/minyak

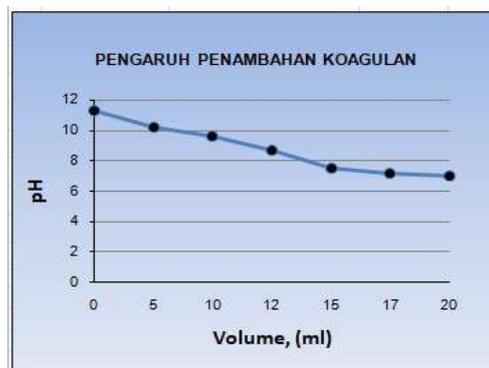
1	Vol. NaOH 10%	pH	Lemak/Minyak
2	0 ml	6,76	55,4
3	5 ml	7,64	46,2
4	10 ml	9,20	24,6
5	15 ml	10,62	15,4
6	17 ml	11,35	8,7
7	20 ml	12,84	8,2



Gambar 2. Grafik pengaruh penambahan NaOH terhadap pH



Gambar 3. Grafik pengaruh penambahan NaOH terhadap minyak/lemak

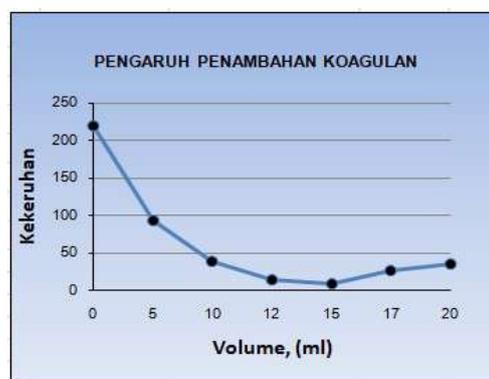


Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan koagulan terhadap pH

Dari Tabel 1 dan gambar 2 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa hasil optimum proses saponisasi pada penambahan 17 ml dan penambahan NaOH sudah tidak signifikan. Selanjutnya kondisi optimum dilakukan uji jar tes menggunakan koagulan Aluminium sulfat (tawas).

#### Pengujian Jar Test

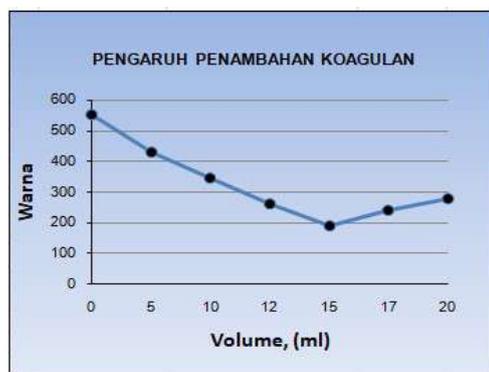
Uji *jar test* ini bertujuan untuk mengetahui dosis optimum penggunaan bahan koagulan untuk mengendapkan material koloid yang terbentuk setelah proses penyabunan (saponifikasi). Parameter yang diuji untuk mengetahui efektifitas bahan koagulan yang digunakan adalah: pH, kekeruhan, dan warna. Hasil uji *jar test* terhadap volume limbah 250 ml, koagulan Aluminium sulfat 10%, pengadukan cepat: 500 rpm, 60 detik, pengadukan lambat: 90 rpm, 5 menit) seperti pada Tabel 2 dan grafik pada Gambar 4 hingga Gambar 6.



Gambar 5. Grafik pengaruh penambahan koagulan terhadap kekeruhan

Tabel 2. Hasil uji *jar test* terhadap pH, kekeruhan, dan warna

No	Vol. koagulan	pH	Kekeruhan (NTU)	Warna (PtCo)
1	0 ml	11,3	220	550
2	5 ml	10,2	92,5	428
3	10 ml	9,6	38,4	345
4	12 ml	8,7	12,8	262
5	15 ml	7,5	8,2	189
6	17 ml	7,2	26,5	240
7	20 ml	7,0	34,6	278



Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan koagulan terhadap warna

Dari Tabel 2 dan Gambar 4 hingga Gambar 6 dapat diketahui bahwa kondisi optimum pada penambahan koagulan 17 ml dimana pH telah memenuhi baku mutu, sedangkan untuk parameter warna dan kekeruhan justru mengalami kenaikan karena kelebihan penambahan koagulan.

### Pengaruh Waktu Tinggal Proses Aerobic Biofilter

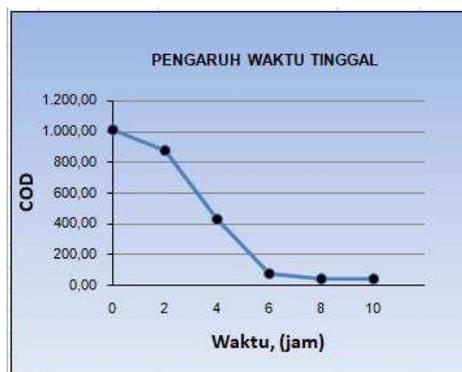
Analisa juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu proses aerob pada unit *aerobic biofilter* terhadap parameter BOD, COD, lemak/minyak. Hasil analisa tersebut tampak seperti pada Tabel 3 dan grafik pada Gambar 7 hingga Gambar 9.

Tabel 3. Hasil analisa pengaruh waktu proses aerob pada unit *aerobic biofilter* terhadap parameter BOD, COD, lemak/minyak

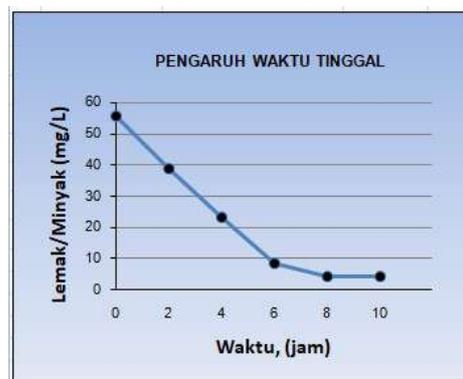
No	Waktu	BOD	COD	Lemak /Minyak
1	0 jam	303,49	1.011,78	55,4
2	2 jam	274,64	876,25	38,6
3	4 jam	112,26	432,42	22,8
4	6 jam	63,37	76,14	8,4
5	<b>8 jam</b>	<b>24,12</b>	<b>42,34</b>	<b>4,2</b>
6	10 jam	22,68	40,62	4,0



Gambar 7. Grafik pengaruh waktu tinggal terhadap BOD



Gambar 8. Grafik pengaruh waktu tinggal terhadap COD



Gambar 9. Grafik pengaruh waktu tinggal terhadap minyak/lemak

Dari Tabel 3 dan Gambar 7 hingga Gambar 9 dapat diketahui bahwa kondisi optimum pada waktu tinggal (detention time) proses *aerobic biofilter* adalah 8 jam dan parameter BOD, COD, lemak dan minyak telah memenuhi baku mutu sesuai Perda DIY No. 10 Tahun 2017.

### KESIMPULAN

1. Proses saponifikasi efektif dalam menurunkan kadar lemak/minyak pada limbah cair rumah makan sehingga dapat digunakan sebagai teknologi alternatif sistem gabungan presipitasi *aerobic biofilter*.
2. Kondisi optimum proses Saponifikasi pada penambahan NaOH 17 ml/1000 ml limbah didapatkan kadar lemak/minyak 8,7 mg/L serta pH 11,35.
3. Hasil uji *jar test* untuk mengetahui dosis volumetrik koagulan (Aluminium sulfat 5%) adalah 15 ml/300 ml limbah dan didapatkan hasil Kekeruhan 8,2 NTU, Warna 189 PtCo serta pH 7,5.
4. Waktu optimum proses aerobik biofilter selama 8 jam dengan hasil analisa BOD 24,12 mg/L, COD 42,34 mg/L dan Lemak/minyak 4,2 mg/L dan telah memenuhi baku mutu sesuai Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10//1995.

### DAFTAR PUSTAKA

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.: Kep-51/MENLH/10//1995 Lampiran B IV tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.

- Ketaren, S., 2005, *Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, UI, Jakarta.
- Mardianto, W., Apriani, I., Hayati, R., Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Sistem Kombinasi ABR dan Wetland dengan Sistem Kontinyu, <https://media.neliti.com/media/publications/191245-ID-pengolahan-limbah-cair-rumah-makan-mengg.pdf>, diakses tanggal: 01 Juli 2018.
- Metcalf, Eddy, 1993, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fourth Edition, International Edition, McGraw-Hill.
- Prawira, 2010, *Reaksi Saponifikasi Pada Proses Pembuatan Sabun*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Said, N. I., 2001, *Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Proses Biologis Biakan Melekat Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon*. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 2, No.3, Hal.: 223-240.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., 2003, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Fourth Edition, McGraw-Hill Education.
- Zahra, L. Z., Purwanti, I. F., 2015, Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik, Jurnal Teknik ITS, Vol. 4, No. 1., Hal.: 35-39.

#### **BIODATA PENULIS**

**Purnawan, S.T., M.Eng., C.W.S.**, lahir di Yogyakarta pada tanggal 8 Oktober 1962, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Lingkungan dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2006, dan S2 bidang Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2010. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan Jabatan Akademik Asisten Ahli pada bidang minat pengendalian pencemaran lingkungan dan teknik penyediaan air bersih.

**Angge Dhevi Warisaura, S.T., M.Eng.**, lahir di Bantul pada tanggal 15 Desember 1990, menyelesaikan

pendidikan S1 Jurusan Teknik Lingkungan dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2013 dan S2 bidang Teknik Lingkungan tahun 2018 dari Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan dari Universitas Gadjah Mada. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta, bidang minat pengelolaan air bawah tanah dan produksi bersih industri.

**Agnes Setyaningrum**, lahir di Yogyakarta pada tanggal 2 Agustus 1997. Saat ini tercatat sebagai mahasiswa pada Jurusan Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat pengendalian pencemaran lingkungan.

## DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM *MONITORING* TEGANGAN DAN ARUS MOTOR INDUKSI TIGA *PHASE* MENGGUNAKAN KONSEP *INTERNET OF THINGS (IOT)*

Heru Susanto<sup>1</sup>, Agus Nurcahyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi S1 Teknik Kedirgantaraan, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta

<sup>2</sup>Prodi D3 Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta  
E-mail:<sup>1</sup>herususantojogja@gmail.com, <sup>2</sup>agusnmail@gmail.com

Masuk: 13 Juli 2018, Revisi masuk: 21 Juli 2018, Diterima: 22 Juli 2018

### ABSTRACT

*Monitoring for voltage and current in a three-phase induction motor that is widely used in industry needs to be carried out continuously to ensure that motor performance remains good. Utilizing the Internet of Things (IoT) can help carry out this monitoring task to minimize the existence of human error factors. Design and implementation of a system is needed to monitor voltage and current in a three phase induction motor using the IoT concept so that monitoring can be done anytime and anywhere as long as it is connected to the internet. This system design consists of hardware and software that works to monitor the voltage and current that comes from a three-phase induction motor. The hardware part consists of the NodeMCU+ESP8266 module, 16x2+I2C LCD module, ACS712 current sensor module, AC voltage sensor module, CD4051 analog IC multiplexer, and power supply. The software part is a program algorithm that contains a flow of voltage and current readings to be displayed on IoT services named Thingspeak. The appearance of the Thingspeak application is designed to present data readings of three-phase voltage sensors and readings of three-phase current sensors. The results of the research show that the system designed has been implemented to monitor voltage and current in an three-phase induction motor based on IoT. The data displayed in Thingspeak consists of three phase AC voltage and three phase AC current. The test results show the difference between the data on Thingspeak with a measuring device which is 1% for phase R voltage, 2% for S phase voltage, 1% for phase T voltage, 37% for phase R current, 7% for S phase current, and 13% for phase T current.*

**Keywords:** *Induction motor, IoT, NodeMCU, Thingspeak.*

### INTISARI

*Monitoring* tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* yang banyak digunakan di industri perlu dilakukan secara terus-menerus untuk memastikan kinerja motor tetap baik. Pemanfaatan *Internet of Things (IoT)* dapat membantu melakukan tugas *monitoring* ini untuk meminimalisir adanya faktor kesalahan manusia. Diperlukan desain dan implementasi sistem yang dapat untuk melakukan *monitoring* tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* dengan menggunakan konsep IoT sehingga *monitoring* dapat dilakukan kapanpun dan dimanapun selama terkoneksi dengan internet. Desain sistem ini terdiri atas *hardware* dan *software* yang bekerja untuk memonitor tegangan dan arus yang berasal dari motor induksi tiga *phase*. Bagian *hardware* terdiri modul NodeMCU+ESP8266, modul LCD 16x2+I2C, modul sensor arus ACS712, modul sensor tegangan AC, *multiplexer* analog IC CD4051, dan power supply. Bagian software berupa algoritma program yang berisi alur pembacaan tegangan dan arus hingga ditampilkan pada layanan IoT bernama Thingspeak. Tampilan pada aplikasi Thingspeak didesain untuk menyajikan data pembacaan sensor tegangan tiga *phase* dan pembacaan sensor arus tiga *phase*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang didesain telah dapat diimplementasikan untuk memantau tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* yang berbasis IoT. Data ditampilkan pada Thingspeak terdiri atas tegangan AC tiga *phase* dan arus AC tiga *phase*. Hasil pengujian menunjukkan adanya selisih antara

data pada Thingspeak dengan alat ukur yaitu 1% untuk tegangan *phase R*, 2% untuk tegangan *phase S*, 1% untuk tegangan *phase T*, 37% untuk arus *phase R*, 7% untuk arus *phase S*, dan 13% untuk arus *phase T*.

**Kata-kata kunci:** *Induction motor, IoT, NodeMCU, Thingspeak.*

## PENDAHULUAN

*Monitoring* tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* yang banyak digunakan di industri perlu dilakukan secara terus-menerus (*real time*) agar kinerja motor tetap berjalan dengan baik dan jika ada gangguan dapat diketahui secara lebih dini. Hasil dari *monitoring* arus dan tegangan secara *real time* ini selanjutnya dijadikan sebagai bahan analisis apakah motor tersebut mengalami gangguan, dan jika terjadi gangguan maka penanganannya dapat dilakukan secepatnya (Setiawan, 2015).

*Monitoring* tegangan dan arus motor induksi yang terdapat di industri biasanya masih dilakukan secara manual oleh pekerja yang ditugaskan untuk mencatat tegangan dan arus setiap periode tertentu (biasanya 1 atau 2 jam sekali). Pekerja yang bertugas untuk melakukan pemantauan ini akan mendatangi alat pengukur tegangan dan arus sekaligus mencatat besarnya tegangan dan arus yang sedang terukur saat itu dan mencatatnya kembali pada periode berikutnya. Pekerjaan seperti ini memiliki resiko kesalahan akibat faktor *human error*, sehingga menjadi tidak efektif. Diperlukan cara alternatif untuk memudahkan pekerjaan pemantauan arus dan tegangan motor listrik dengan meminimalkan terjadinya kesalahan yaitu dengan menggunakan konsep *IoT*.

*IoT* adalah sebuah jaringan yang digunakan untuk mewujudkan interkoneksi antar objek dengan layanan *web*. Penggunaan aplikasi *IoT* saat ini telah merambah berbagai ranah seperti *WSN*, *RFID*, *GPS* dan lainnya yang secara keseluruhan bertujuan untuk membuat pekerjaan menjadi lebih efisien dan lebih mudah (Wang dan Liu, 2011). Pemanfaatan konsep *IoT* telah dilakukan dalam berbagai penelitian yang menjangkau berbagai macam bidang, diantaranya *power management system* (Lee dan Lai, 2016), *greenhouse agricultural* (Guo dan Zhong, 2015),

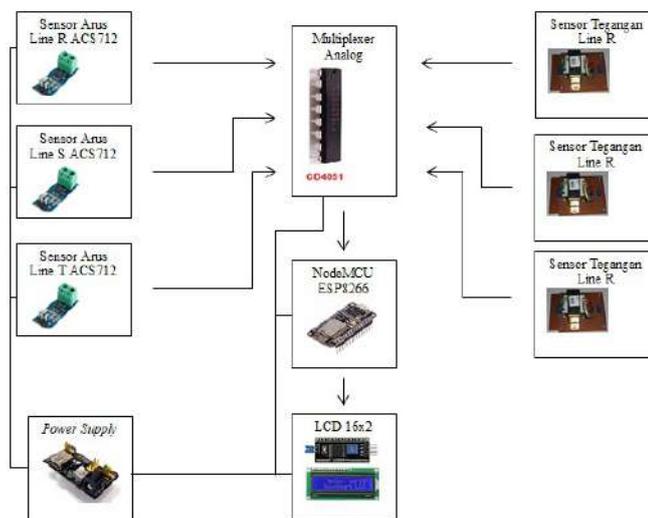
sistem pemantauan (Lao dan Li, 2014), *smart home* (Soliman dkk., 2013), dan pemandu robot (Kumar dkk., 2015).

Pemanfaatan konsep *IoT* pada sistem *monitoring* juga dapat digunakan untuk melakukan tugas *monitoring* tegangan dan arus pada motor induksi dengan cara menghubungkan perangkat keras seperti sensor arus, sensor tegangan, *multiplexer* analog, modul NodeMCU+ESP8266, LCD+i2C, jaringan internet, dan *WEB service*. Sensor arus dan tegangan digunakan untuk melakukan deteksi (pengukuran) arus dan tegangan AC pada motor induksi yang selanjutnya diolah menjadi data pengukuran *real time* oleh NodeMCU setelah sebelumnya melewati *multiplexer* analog. *Multiplexer* analog digunakan untuk mengatasi keterbatasan I/O analog pada NodeMCU. Data dari NodeMCU ini selanjutnya akan dikirimkan ke *WEB service* melalui jaringan internet dengan modul ESP8266. *Web service* yang cocok untuk kegiatan *monitoring* adalah layanan gratis dari *Thingspeak*. Data ini selanjutnya akan tersimpan dalam *cloud (server)* dan dapat diakses setiap saat. Perekaman data ini dapat dilakukan dengan pengaturan periode tertentu secara *real time*.

Penelitian ini mendesain sistem yang dapat digunakan untuk *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* menggunakan *IoT*. Desain sistem yang dibuat meliputi desain *hardware* dan *software*.

## Desain Hardware

*Hardware* yang digunakan pada desain ini terdiri atas modul NodeMCU+ESP8266, *power supply*, sensor arus ACS712, sensor tegangan AC, modul I2C LCD 2x16, IC CD4051, *variable resistor*, dan beberapa komponen elektronik dasar lainnya. Gambar 1 menampilkan desain *hardware* sistem *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase*.



Gambar 1. Desain *hardware* sistem *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase*

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus ACS712 yang memiliki kemampuan pembacaan hingga 30A yang berjumlah 3 buah untuk mendeteksi besarnya arus pada *phase* R, S, dan T. Berdasarkan spesifikasi sensor ACS712 dengan kapasitas 30A adalah keluaran dari sensor ini adalah 66 mV/A yang artinya setiap kenaikan 1A arus yang terbaca maka pada keluarannya akan mengalami kenaikan tegangan sebesar 66 mV atau 0,066 Volt.

Sensor arus ACS712 juga memiliki *range* pembacaan ADC antara 0-1024 pada tegangan 5 volt. Sensitifitas keluaran 66 mV untuk setiap kenaikan 1A, dengan AC offset 2500 mV mengingat hanya digunakan untuk mengukur arus positif dan negatif, sehingga besarnya arus yang diukur dapat ditentukan dengan persamaan (1) sebagai berikut (Henry, 2017):

$$I_{out} = \frac{\left(\frac{V_{in}}{1024} \times 5000\right) - 2500}{185} \quad (1)$$

dimana,

$I_{out}$  = arus hasil pengukuran yang ditampilkan

$V_{in}$  = tegangan dari sensor yang dibaca oleh ADC NodeMCU

Sensor tegangan yang digunakan adalah sensor tegangan AC dengan

kemampuan membaca tegangan maksimum 250 VAC. Sensor ini didesain dengan menggunakan tiga buah transformator *step down* pada tegangan output 6VAC untuk mengukur tegangan pada *phase* R, S, dan T pada motor induksi tiga *phase*. Selanjutnya tegangan ini disearahkan menggunakan *diode* dan untuk mengurangi *ripple* yang terjadi digunakan kapasitor. Sebagai pengatur ketepatan sensor digunakan variabel resistor sebagai output sensor tegangan AC. Berdasarkan pengaturan sensor tegangan AC ini, maka digunakan persamaan (2) untuk menentukan nilai pembacaan sensor tegangan.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1024} \times 500 \quad (2)$$

dimana,

$V_{out}$  = tegangan AC yang terukur dan ditampilkan

$V_{in}$  = tegangan yang dibaca oleh ADC NodeMCU

*Multiplexer* analog digunakan sebagai ekspansi terhadap I/O analog pada NodeMCU. *Multiplexer* analog yang digunakan adalah IC CD4051, sebagai masukan enam buah sensor tegangan dan arus, sementara keluarannya akan dihubungkan ke I/O analog NodeMCU. Sumber tegangan IC CD4051 adalah +5 volt yang terdapat pada *pin* 16 dan

*ground* pada pin 8. Masukan *multiplexer* analog ini berasal dari tiga buah sensor arus dan tiga buah sensor tegangan AC. Kendali keluaran IC CD4051 dilakukan dengan menghubungkan *pin* input 1, input 2, dan input 3 masing-masing pada D0, D1, dan D2 pada NodeMCU. Keluaran IC ini (*pin* 3) dihubungkan ke masukan I/O analog (A0) pada modul NodeMCU+ESP8266.

Bagian akhir dari IC CD4051 adalah *pin Inhibit* dan VSS yang dihubungkan ke *catu ground*. NodeMCU pada desain ini digunakan sebagai perangkat utama untuk mengolah data yang berasal dari sensor dan menampilkannya ke LCD dan jaringan internet melalui ESP8266 untuk koneksi IoT. Pin A0 sebagai I/O analog digunakan sebagai masukan data yang berasal dari sensor tegangan AC dan arus AC setelah di-*multiplexing* menggunakan IC CD4051. Keluaran dari *multiplexer* inilah yang secara langsung masuk ke pin I/O A0 NodeMCU. Pin A0 merupakan masukan data analog yang selanjutnya akan diubah menjadi data digital dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) agar bisa dibaca oleh program. Komunikasi antara NodeMCU dan ESP8266 bisa dilakukan melalui pemrograman tanpa perlu kesulitan untuk memperhatikan koneksi *hardware* antar kedua modul untuk dipublikasikan ke internet yaitu ke *web server* bernama Thingspeak.

Bagian terakhir adalah LCD 16x2 yang digunakan untuk menampilkan data yang berasal dari NodeMCU. LCD ini juga dilengkapi dengan I2C yang akan meminimalisir penggunaan *port* I/O digital pada NodeMCU.

### Desain Software

Desain program untuk *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* menggunakan IoT dimulai dengan melakukan konfigurasi keluaran sistem atau yang dikenal dengan konfigurasi *pinout*, selanjutnya dilakukan inisialisasi variabel untuk perangkat keras maupun perangkat lunak. Inisialisasi ini meliputi inisialisasi untuk membaca tegangan dan arus AC tiga *phase* yang berasal dari motor induksi, kendali *multiplexer* IC CD4051, penampil LCD melalui i2C, dan

inisialisasi terhadap perangkat IoT dengan menggunakan *web server* Thingspeak.

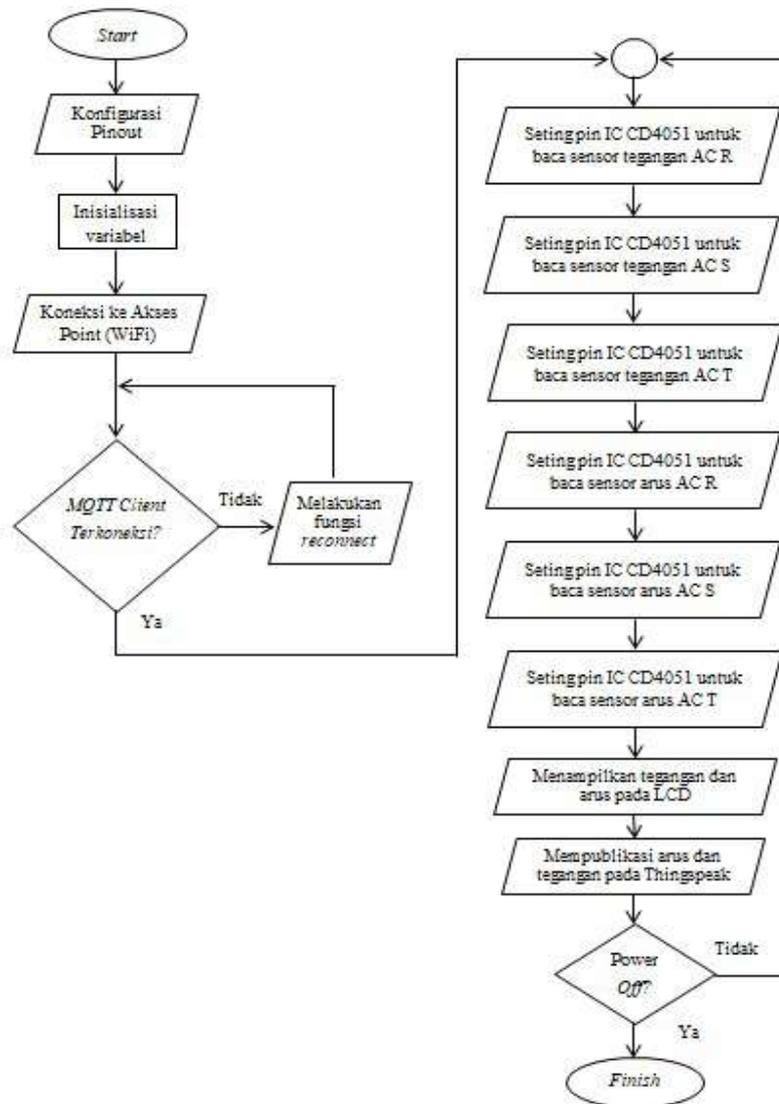
Langkah berikutnya adalah melakukan koneksi ke *access point* setelah perangkat semuanya siap. Kegunaan dari koneksi *access point* ini adalah untuk melakukan komunikasi berupa pengiriman data menggunakan MQTT *client*. Apabila komunikasi dengan MQTT belum tersambung, maka sistem secara otomatis akan melakukan penghubungan kembali dengan MQTT sampai kondisi terjadi komunikasi. Apabila komunikasi antara perangkat dengan MQTT *client* dan *broker* sudah siap maka sistem akan melakukan pembacaan terhadap pembacaan sensor tegangan AC *phase* R dan menghitung hasilnya. Pembacaan dan perhitungan hasil dilakukan masing-masing pada sensor tegangan *phase* S, dan *phase* T. Pembacaan sensor arus dilakukan dengan cara membaca pada arus AC *phase* R, *phase* S, dan *phase* T. Sistem berikutnya akan menampilkan besarnya tegangan dan arus AC tiga *phase* yang dihasilkan dari motor induksi tiga *phase* pada LCD 16x2 setelah dikirim melalui i2C LCD module. Data tegangan dan arus juga akan dipublikasikan ke *web server* Thingspeak.

Desain *software* lainnya adalah berupa aplikasi *web service* Thingspeak yang akan digunakan untuk memublikasikan hasil dari *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* secara *online*. Desain Thingspeak dilakukan dengan membuat "*Channel*" dan mengatur "*Field*" untuk menampilkan data tegangan dan arus tiga *phase*. Desain ini mengatur "*Field 1*" digunakan untuk menampilkan data tegangan AC *phase* R, "*Field 2*" untuk menampilkan data tegangan AC *phase* S, "*Field 3*" untuk menampilkan data tegangan AC *phase* T, "*Field 4*" untuk menampilkan data arus AC *phase* R, "*Field 5*" untuk menampilkan data arus AC *phase* S, dan "*Field 6*" untuk menampilkan data arus AC *phase* T.

*Channel* yang didesain dalam sistem juga memberikan informasi penting diantaranya adalah *channel ID*, *API key*, dan *export data*. *API key* merupakan

sekumpulan data yang perlu diisikan pada program agar dapat terhubung pada *MQTT client* Thingspeak. *Data export* digunakan untuk mengunduh data salah satunya dalam format CSV.

*Flowchart* desain *software* untuk desain dan implementasi sistem *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* menggunakan konsep *IoT* tampak seperti pada Gambar 2.

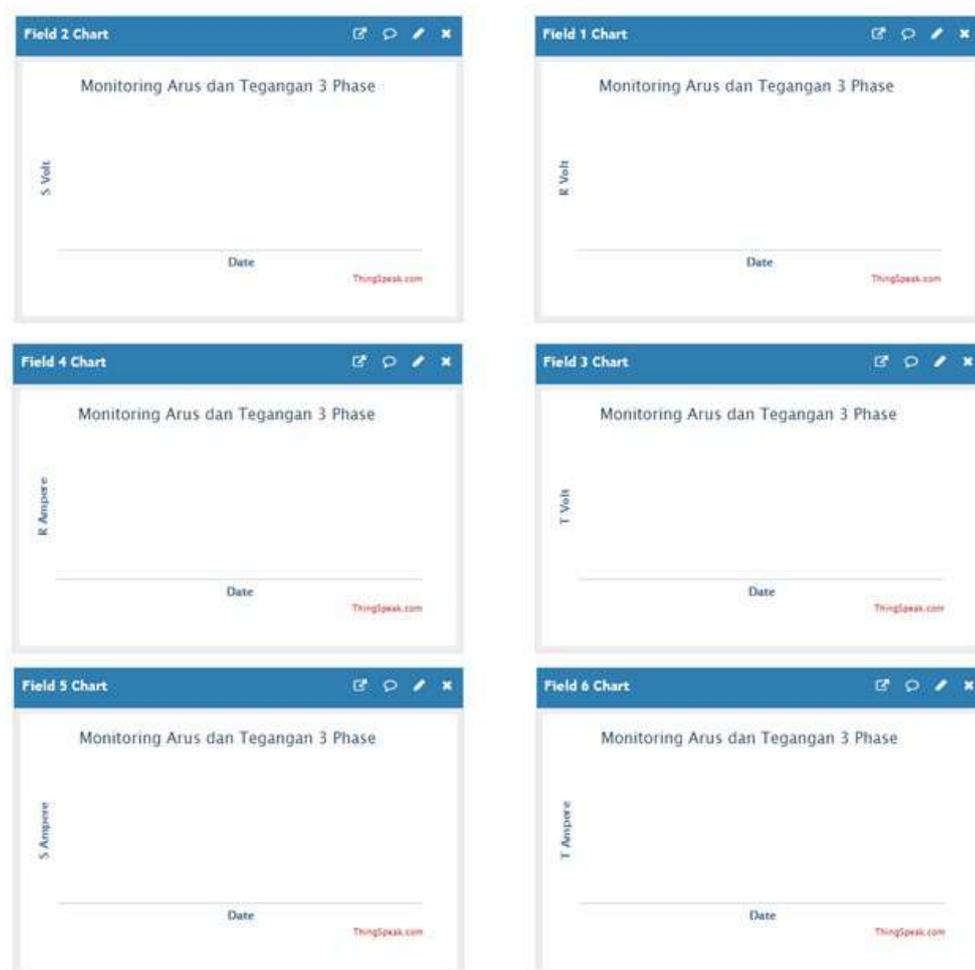


Gambar 2. Diagram alir program sistem

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dari alat *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* menggunakan konsep *IoT* direalisasikan dalam bentuk desain dari sisi *hardware*, *software*, dan desain aplikasi *IoT* menggunakan *web server* Thingspeak.

Gambar 3 menunjukkan contoh tampilan data tegangan dan arus AC pada masing-masing *field*, sedangkan Gambar 4 menampilkan Realisasi alat *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* dengan *IoT*.



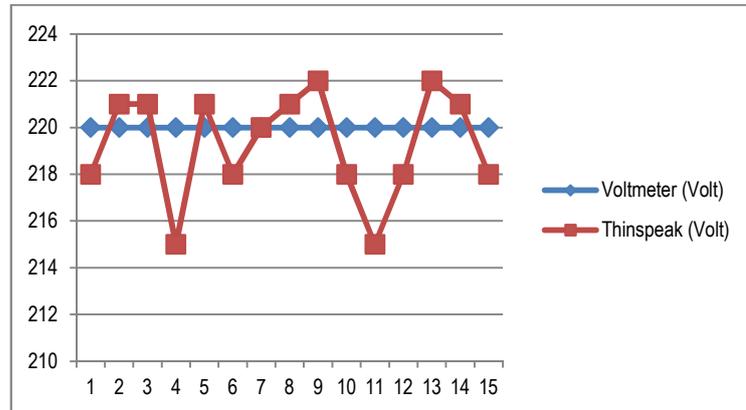
Gambar 3. Tampilan data tegangan dan arus AC pada masing-masing *field*



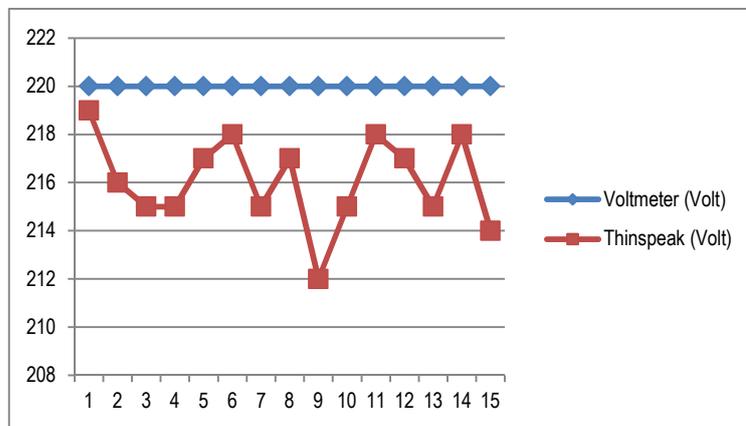
Gambar 4. Realisasi alat *monitoring* tegangan dan arus motor induksi tiga *phase* dengan *IoT*

Pengujian sistem dilakukan ketika realisasi alat digunakan untuk memantau besarnya tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* dengan mencari selisih antara data yang ditampilkan oleh Thingspeak dan alat ukur *voltmeter* atau

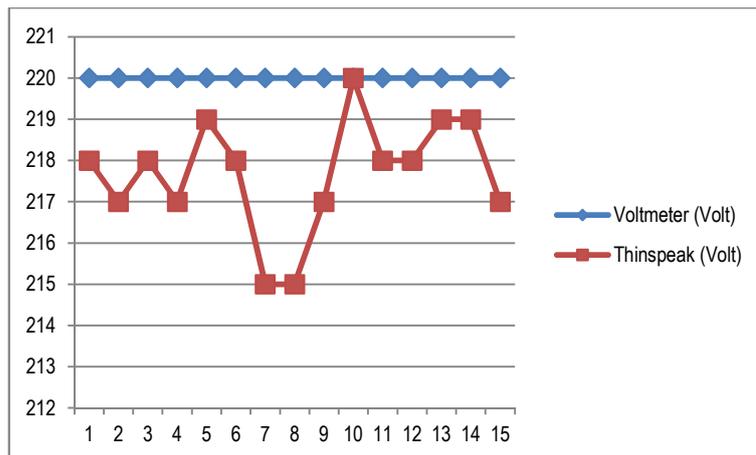
*tangmeter*. Hasil pengujian tegangan motor induksi pada masing-masing *phase*, terlihat pada grafik perbandingan pengujian menggunakan *voltmeter* dan data yang ditampilkan pada Thingspeak dalam Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Hasil pengujian tegangan menunjukkan bahwa terjadi selisih antara tegangan yang ditampilkan oleh Thingspeak dengan alat ukur *voltmeter* dengan rincian 1% untuk tegangan *phase* R, 2% untuk tegangan *phase* S, 1% untuk tegangan *phase* T. Adapun pengujian arus motor induksi pada masing-masing *phase*, seperti terlihat pada grafik perbandingan pengujian menggunakan alat ukur *tangmeter* AC dan data yang ditampilkan pada Thingspeak dalam Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



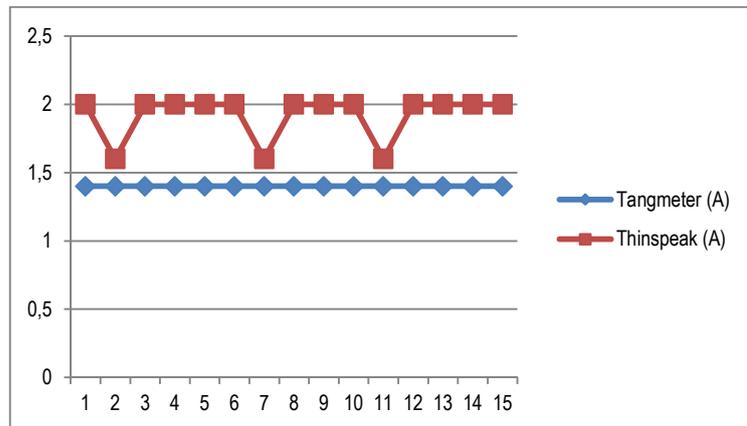
Gambar 5. Perbandingan pengujian menggunakan *voltmeter* dan Thinspeak tegangan *phase R*



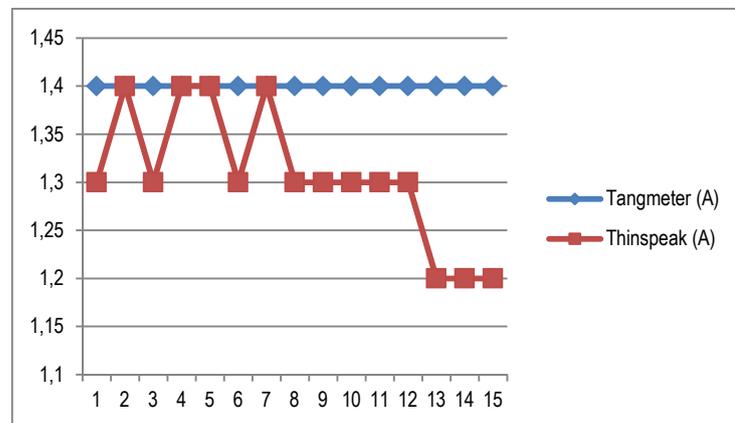
Gambar 6. Perbandingan pengukuran menggunakan *voltmeter* dan Thinspeak tegangan *phase S*



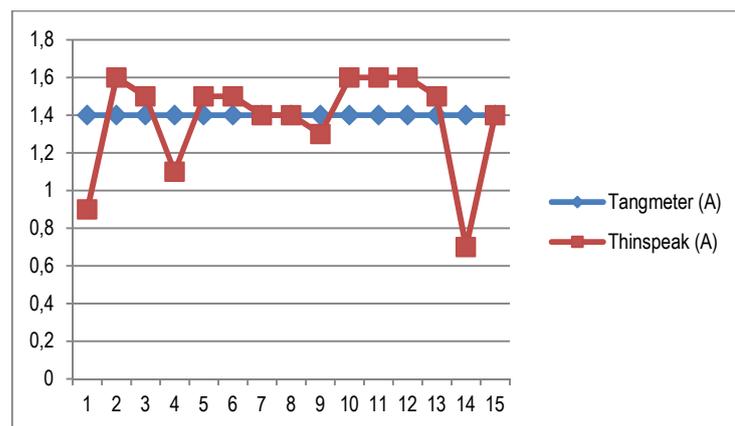
Gambar 7. Perbandingan pengukuran menggunakan *voltmeter* dan Thinspeak tegangan *phase T*



Gambar 8. Perbandingan pengukuran menggunakan *tangmeter* dan Thinspeak tegangan *phase R*



Gambar 9. Perbandingan pengukuran menggunakan *tangmeter* dan Thinspeak arus *phase S*



Gambar 10. Perbandingan pengukuran menggunakan *tangmeter* dan Thinspeak tegangan *phase T*

Hasil pengujian arus menunjukkan bahwa terjadi selisih antara tegangan yang ditampilkan oleh Thinspeak dan alat ukur voltmeter dengan rincian 37%

untuk arus *phase R*, 7% untuk arus *phase S*, 13% untuk arus *phase T*.

Data tegangan dan arus tiga *phase* yang telah diterima dan disimpan oleh

Thingspeak dapat dilihat dan diunduh salah satunya dalam format CSV yang dapat dikonversi ke MS Excel. Data berupa tegangan dan arus tiga *phase* yang berasal dari motor induksi tiga *phase* yang sudah diunduh ini dapat

digunakan untuk melakukan analisis berikutnya terhadap kinerja motor induksi tiga *phase*. Gambar 11 menunjukkan hasil tampilan pada Thingspeak dalam pengujian alat untuk memonitor tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase*.



Gambar 11. Hasil desain penampil tegangan dan arus tiga *phase* pada Thingspeak

### KESIMPULAN

Desain sistem telah dapat diimplementasikan untuk melakukan kegiatan *monitoring* tegangan dan arus pada motor induksi tiga *phase* menggunakan konsep IoT. Implementasi sistem terdiri atas hardware dan software yang bekerja untuk membaca besarnya tegangan AC tiga *phase* melalui sensor tegangan dan membaca arus tiga *phase* melalui sensor arus ACS712. Adanya

keterbatasan I/O analog pada pengolah data NodeMCU dapat diatasi dengan ekspansi I/O analog menggunakan *multiplexer* analog IC CD4051. Data tegangan dan arus tiga *phase* diolah oleh NodeMCU dan selanjutnya ditampilkan pada LCD dan dipublikasikan ke *web server* Thingspeak. Hasil pengujian sistem masih menunjukkan adanya perbedaan atau selisih antara data pengukuran menggunakan alat ukur

dengan data yang ditampilkan pada Thingspeak. Perbedaan cukup besar pada pengukuran arus menggunakan sensor ACS712 yang sangat rentan terhadap kestabilan tegangan keluaran sensor sehingga dapat dipertimbangkan untuk menggunakan sensor arus yang lainnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta yang telah memberikan kemudahan dalam penggunaan laboratorium untuk penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Kemenristek Dikti yang telah mendukung dalam pembiayaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Guo, T., Zhong, W., 2015, Design and Implementation of The Span Greenhouse Agriculture Internet of Things System, *Fluid Power Mechatronics (FPM) Int. Conf.*, pp. 398-401.
- Henry, 2017, *The ACS712 Current Sensor with An Arduino*, <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/the-ac712-current-sensor-with-an-arduino/>, diakses 02 Oktober 2017.
- Kumar, A., Mishra, A., Makula, P., 2015, Smart Robotic Assistant, *IEEE*, pp. 2-5.
- Lao, F., Li, G. X., 2014, The Design and Implementation of Crop Growing Environment Monitoring System Based on the Internet of Things, *Adv. Mater. Res.*, Vol. 912-914, pp. 1440-1443.
- Lee, C. H., Lai, Y. H., 2016, Design and Implementation of A Universal Smart Energy Management Gateway Based on The Internet of Things Platform, *IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE 2016*, No. 1, pp. 67-68.

Setiawan, A., 2015, *Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus dan Tegangan Multichannel Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler ATmega8535*, Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana, Jakarta.

Soliman, M., Abiodun, T., Hamouda, T., Zhou, J., Lung, C. H., 2013, Smart Home: Integrating Internet of Things with Web Services and Cloud Computing, *IEEE 5th Int. Conf. Cloud Comput. Technol. Sci.*, Vol. 2, pp. 317-320.

Wang, X., Liu, J., 2011, Design and Implementation for Ambulance Route Search Based on the Internet of Things, *Third Int. Conf. Commun. Mob. Comput.*, pp. 523-526.

#### BIODATA PENULIS

**Heru Susanto, S.Pd.T., M.Eng.**, lahir di Jepara pada tanggal 5 Februari 1983, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Pendidikan Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2005 dan S2 bidang Teknik Elektro dari Universitas Gadjah Mada tahun 2015. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap pada Prodi S1 Teknik Kedirgantaraan, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat instrumen pesawat terbang dan mikrokontroler.

**Agus Murcahyo, S.T., M.Eng.**, lahir di Banjarnegara pada tanggal 1 Agustus 1983, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Elektro dari Universitas Islam Indonesia tahun 2010 dan S2 bidang Teknik Elektro dari Universitas Gadjah Mada tahun 2015. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap pada Prodi D3 Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta dengan jabatan akademik Tenaga Pengajar pada bidang minat elektronika dan elektronika jaringan.

## METODE *GENERALIZED SPACE-TIME AUTOREGRESSIVE* UNTUK PERAMALAN PERTUMBUHAN EKONOMI DI KAWASAN TIMUR INDONESIA

Rokhana Dwi Bekt<sup>1</sup>, Noviana Pratiwi<sup>2</sup>, Petronella Mira Melati<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Statistika IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>rokhana@akprind.ac.id, <sup>2</sup>novianapratiwi@akprind.ac.id,  
<sup>3</sup>petronellamira88@gmail.com

Masuk: 13 Juli 2018, Revisi masuk: 21 Juli 2018, Diterima: 22 Juli 2018

### ABSTRACT

*Generalized Method of Space Time Autoregressive (GSTAR) is one of spatio temporal method. This method modifies the spatial dependencies among location by using the time series data or time lags. This research applies the GSTAR for forecasting economic growth in Eastern Indonesia. The economic development of some provinces in the region, which is far from state of capital, is highly dependent on access to the facility centers of economic activity, access to education, access to health facility, and others. Thus forecasting information by taking into account the spatial aspect (the relationship between the provinces) and time is needed to assess the economic development of several periods ahead. GSTAR (1;1) was selected for the forecasting. Parameter estimation using least squares build the different parameter in each province. Based on comparisons with ARIMA method, GSTAR provide better forecasting results.*

**Keywords:** *Eastern Indonesia, Economic growth, Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR).*

### INTISARI

Metode *Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR)* merupakan salah satu jenis metode *spatio temporal*. Metode ini memodifikasi dependensi spasial antara satu lokasi dengan lokasi lain dengan menggunakan data *time series* atau data *time lags*. Penelitian ini menerapkan metode tersebut pada peramalan pertumbuhan ekonomi di Kawasan Timur Indonesia. Perkembangan ekonomi beberapa propinsi di kawasan tersebut, yang jauh dari pusat ibukota negara, sangat bergantung pada akses terhadap fasilitas pusat kegiatan ekonomi, akses pendidikan, akses kesehatan, dan lainnya. Dengan demikian informasi peramalan dengan memperhatikan aspek spasial (hubungan antar propinsi) dan waktu adalah sangat diperlukan untuk mengetahui perkembangan ekonomi beberapa periode ke depan. Model *GSTAR (1;1)* terpilih untuk peramalan tersebut. Estimasi parameter *least square* menghasilkan estimasi yang berbeda-beda di setiap propinsi. Berdasarkan perbandingan dengan metode *ARIMA*, *GSTAR* memberikan hasil peramalan yang lebih baik.

**Kata-kata kunci:** *GSTAR, Kawasan Timur Indonesia, Pertumbuhan ekonomi.*

### PENDAHULUAN

Metode spasial merupakan metode statistik untuk menganalisis data yang mengkaji pengaruh lokasinya juga. Hukum pertama tentang geografi dikemukakan oleh Tobler, menyatakan bahwa segala sesuatu saling berhubungan satu dengan yang lainnya, tetapi sesuatu yang dekat lebih mempunyai pengaruh daripada sesuatu yang jauh (Anselin, 1988). Hukum tersebut merupakan dasar pengkajian

permasalahan metode spasial. Metode spasial untuk pemodelan, atau analisis hubungan, berkembang berdasarkan data, yaitu data *cross sectional*, *time series*, atau data panel. Metode spasial untuk data *cross sectional* diantaranya *Spatial Autoregressive (SAR)*, *Spatial Error Model (SEM)*, *SARMA*, *Spatial Durbin Model (SDM)*, dan lainnya. Penelitian yang menggunakan data *cross sectional* diantaranya ((Bekti dan utikno,

2011), (Bekti & Sutikno, 2012), (Bekti, 2012), dan (Bekti dkk, 2014).

Berhubungan dengan analisis data *time series*, terdapat metode spasial yang dikembangkan yaitu metode *spatio temporal*. Metode ini mempertimbangkan waktu dan kedekatan antar lokasi. LeSage (2009) menyatakan bahwa pada model *time series* yang tanpa memperhatikan efek lokasi, data  $y_t$  untuk setiap lokasi hanya dipengaruhi oleh data periode sebelumnya,  $y_{t-1}$ , pada lokasinya sendiri. Sedangkan *spatio temporal* memodifikasi dependensi spasial antara satu lokasi dengan lokasi lain dengan menggunakan data *time series* atau data *time lags* (*space-time lags*). Penelitian Reynolds dan Madden (1988) menyebutkan beberapa metode *spatio temporal* yaitu *Spatio Temporal Autoregressive Moving Average* (STARMA), *Spatio Temporal Autoregressive* (STAR), *Spatio Temporal Moving Average* (STMA), dan *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR). Metode ini berbeda dengan peramalan *time series Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) yang tanpa memperhatikan faktor wilayah lain. Penelitian tentang STAR telah digunakan Semwal dkk (2015) pada peramalan kecepatan akses sosial media. Gumanti dkk (2011) telah melakukan penelitian menggunakan GSTAR untuk memodelkan kejadian demam berdarah.

Perkembangan perekonomian di kawasan timur Indonesia mengalami pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan di kawasan Barat Indonesia selama tahun 2007 hingga 2013. Pada tahun 2007 pertumbuhan di kawasan timur Indonesia dan barat tersebut adalah 6.04% dan 5.4%, sedangkan pada tahun 2013 adalah 7.10% dan 5.78% (BPS, 2016). Perkembangan ini terus berlanjut hingga tahun 2015. Pertumbuhan tertinggi pada tahun 2013 adalah di Propinsi Papua, sedangkan pada tahun 2016 adalah daerah Bali-Nusa Tenggara. Terus meningkatnya pertumbuhan ekonomi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan oleh Pemerintah di kawasan timur telah berhasil. Namun

demikian, pada beberapa periode tertentu, tingkat pertumbuhan ekonomi di beberapa propinsi mengalami perlambatan. Untuk mendapatkan informasi pertumbuhan ekonomi tersebut, maka diperlukan suatu peramalan.

Tingkat pertumbuhan ekonomi, berdasarkan Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2000 (PDRB ADHK 2000), di setiap propinsi didukung oleh sektor lapangan usaha yang berbeda-beda. Seperti di wilayah Pulau Kalimantan pada tahun 2013, lapangan usaha pertanian memberikan kontribusi besar pada PDRB, kecuali Propinsi Kalimantan Timur yang didukung oleh pertambangan dan industri. Hal tersebut ditunjukkan oleh persentase distribusi PDRB ADHK 2000 dari pertanian di Propinsi Kalimantan Barat, Tengah dan Tengah masing-masing adalah 32.79%, 24.48%, 27.99%, dan 22.24% (BPS, 2016), sedangkan kontribusi pertambangan dan penggalian di Kalimantan Timur adalah 42.75%. Wilayah Sulawesi dan Maluku banyak didukung oleh pertanian. Wilayah Papua dan Papua Barat masing-masing banyak didukung oleh pertambangan dan penggalian, serta industri pengolahan. Dengan demikian sektor unggulan di wilayah timur memiliki karakteristik yang berbeda-beda namun cenderung sama pada wilayah yang berdekatan. Hal ini menunjukkan bahwa analisis pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut memerlukan kajian aspek lokasi.

Beberapa penelitian tentang spasial untuk data pertumbuhan ekonomi diantaranya Curran (2009) di Inggris, Yildirim dkk (2011) di Amerika Latin, dan Resende (2013) di Brasil. Sedangkan penelitian untuk peramalan pertumbuhan ekonomi diantaranya oleh Perkins dan Rawski (2008), Pao dan Tsai (2011), dan Pao dkk (2012). Penelitian-penelitian tersebut belum menggunakan metode spasial.

Data BPS (BPS, 2011) menyebutkan bahwa Pemerintah telah menetapkan pentingnya dampak spasial dalam Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025, yaitu bahwa arah

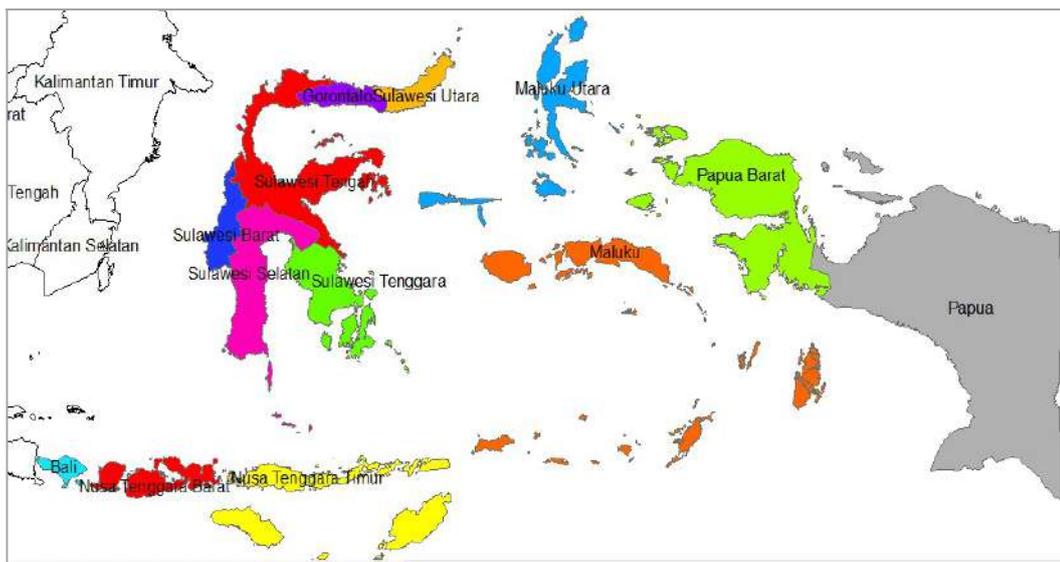
kebijakan pembangunan nasional harus mempertimbangkan pembangunan berbasis kewilayahan. Pertimbangan keterkaitan spasial ini diharapkan dapat meminimalkan disparitas perekonomian dan penyerapan tenaga kerja antar provinsi dapat dioptimalkan.

Penelitian ini melakukan analisis peramalan pertumbuhan ekonomi di setiap sektor lapangan usaha di wilayah Indonesia Timur. Metode yang digunakan adalah GSTAR. Hal ini bertujuan untuk meramalkan dengan mengkaji aspek lokasi atau hubungan antar propinsi. Selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan peramalan menggunakan metode ARIMA. Hasil peramalan tersebut akan memberikan informasi mengenai perkembangan perekonomian

di setiap propinsi di wilayah Indonesia Timur.

#### METODE

Penelitian ini menggunakan data laju pertumbuhan ekonomi *year on year* (y.o.y) di tiga belas propinsi di Kawasan Timur Indonesia (Gambar 1). Pertumbuhan ekonomi y.o.y merupakan pertumbuhan ekonomi yang dihitung atau dibandingkan dengan periode setahun sebelumnya. Pemodelan menggunakan 43 amatan data, yaitu kuartil 4 tahun 2014 hingga kuartil 2 tahun 2015 di masing-masing propinsi. Sedangkan untuk validasi proyeksi, digunakan data kuartil 3 tahun 2015 hingga kuartil 1 tahun 2016. Data sekunder tersebut didapat dari laporan kajian ekonomi regional Bank Indonesia.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data yang lengkap sesuai periode pemodelan hanya ada di 10 propinsi, dengan demikian metode GSTAR dan ARIMA hanya dilakukan pada kesepuluh propinsi tersebut. Kode untuk setiap propinsi adalah: 1) Sulawesi Selatan, 2) Sulawesi Tenggara, 3) Sulawesi Tengah, 4) Gorontalo, 5) Sulawesi Utara, 6) Papua, 7) Bali, 8) NTB, 9) NTT, dan 10) Maluku. Metode analisis yang digunakan adalah: 1) Identifikasi pola spasial, 2) Pemodelan GSTAR, dan 3) Pemodelan ARIMA.

Model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) merupakan pengembangan dari model STAR. Model ini cenderung lebih fleksibel dibandingkan model STAR. Secara matematis, notasi dari model GSTAR adalah sama dengan model STAR. Perbedaan utama dari model GSTAR ini terletak pada nilai-nilai parameter pada *lag* spasial yang sama diperbolehkan berlainan. Pada model STAR adalah pada parameter autoregresifnya yang diasumsikan sama pada seluruh lokasi. Misalkan:

$\mathbf{Z}(t) = (Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_N(t))'$  adalah vektor berukuran  $1 \times N$  dengan waktu  $t=1, 2, \dots, T$  berdasarkan lokasi dan waktu. Model umum GSTAR ( $p; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ) dinyatakan dengan (Nurhayati dkk, 2012):

$$\mathbf{Z}(t) = \sum_{k=1}^p \sum_{l=0}^{\lambda_k} \Phi_{kl} \mathbf{W}^{(l)} \mathbf{Z}(t-k) + \mathbf{e}(t) \quad (1)$$

Dengan  $p$  adalah order *autoregressive*,  $\lambda_k$  adalah order spasial dari order *autoregressive* ke- $k$ ,  $\mathbf{W}^{(l)} = (w_{ij}^{(l)})$  adalah matrik pembobot spasial order ke- $l$  yang berukuran  $N \times N$  dan diagonalnya bernilai nol, dan  $\Phi_{kl}$  adalah matrik diagonal dari parameter *lag* temporal ke- $k$  dan *lag* spasial ke- $l$ . Elemen-elemen diagonal tersebut adalah  $\phi_{kl}^{(1)}, \phi_{kl}^{(2)}, \dots, \phi_{kl}^{(N)}$ . Vektor error  $\mathbf{e}(t)$  diasumsikan berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan varians konstan.

Model GSTAR (1;1) adalah model dengan order *autoregressive*  $p=1$  dan order spasial  $\lambda_1$ . Bentuk persamaan model ini adalah:

$$\mathbf{Z}(t) = \Phi_{10} \mathbf{Z}(t-1) + \Phi_{11} \mathbf{W}^{(1)} \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{e}(t) \quad (2)$$

Model GSTAR (2;1,1) adalah model dengan order *autoregressive*  $p=2$  dan order spasial  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$ . Bentuk persamaan model ini adalah:

$$\mathbf{Z}(t) = \Phi_{10} \mathbf{Z}(t-1) + \Phi_{11} \mathbf{W}^{(1)} \mathbf{Z}(t-1) + \Phi_{20} \mathbf{Z}(t-2) + \Phi_{21} \mathbf{W}^{(2)} \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{e}(t) \quad (3)$$

Penelitian Lee (205) menyatakan bahwa pada pemodelan data *space-time*, beberapa asumsi yang diperlukan adalah pola spasial, stasioneritas, invertibility, korelasi yang konstan, dan distribusi normal. Sementara itu, Wutsqa dkk (2010) menyatakan bahwa asumsi pada model meliputi residual berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan varians konstan. Dengan demikian, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah

asumsi model telah terpenuhi, yaitu melalui uji multivariate *white noise* dan distribusi normal pada residual. Berdasarkan estimasi model maka residual dituliskan  $\hat{\mathbf{e}} = \mathbf{Z}(t) - \hat{\mathbf{Z}}(t)$ .

Asumsi *white noise* memiliki arti bahwa residual antar amatan tidak saling berkorelasi. Salah satu uji *white noise* adalah uji Portmanteau yang merupakan bentuk umum dari *Ljung and Box* pada kasus multivariate Wutsqa dkk (2010). Sedangkan asumsi multivariate normal dilakukan melalui uji multivariate *shapiro wilks*.

Hubungan kedekatan (*neighbouring*) antar lokasi dinyatakan dalam suatu matrik pembobot spasial, yaitu  $\mathbf{W}$  seperti pada persamaan (1). Matrik ini memberi peranan penting dalam setiap analisis data spasial, karena menunjukkan informasi lokasi, ketetanggaan antar lokasi, dan hubungan jauh dekatnya antar lokasi. Oleh karena itu pemilihan jenis matrik ini juga menjadi perhatian utama dalam analisis spasial. Pada pengkajian pembobotan spasial, pemilihan matrik pembobot harus dilakukan secara khusus dan diatur secara *convenience* dan atau *convention*. Spesifikasi dari matrik pembobot adalah merepresentasikan informasi cakupan dan intensitas efek spasial ruang dari suatu unit lokasi di dalam sistem geografi. Matrik pembobot dituliskan:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{13} & w_{23} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & w_{ij} & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & w_{n3} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan elemen-elemennya  $w_{ij}$ . Nilai  $w_{12}$  dan  $w_{21}$  merupakan pembobot antara lokasi pertama dan kedua. Lokasi yang dekat dengan lokasi yang diamati diberi pembobot besar, sedangkan yang jauh diberi pembobot kecil.

Terdapat berbagai jenis pembobot yang dapat digunakan, diantaranya bobot uniform, biner, inverse jarak, dan berdasarkan semi-variogram [9]. Pembobot uniform adalah pembobot yang memberikan nilai bobot yang sama

untuk masing-masing lokasi. Misalnya  $n_i^{(l)}$ ,  $l = 1, 2, \dots$  menunjukkan jumlah lokasi yang bertentangan pada order ketetangaan, maka pembobot uniform pada GSTAR dituliskan dengan Nurhayati dkk (2012).

$$w_{ij}^{(l)} = \begin{cases} \frac{1}{n_i^{(l)}} & , \text{jika } j \text{ adalah tetangga order ke } l \\ 0 & \text{jika } j \text{ bukan tetangga} \end{cases} \quad (5)$$

Jika  $l=1$  maka  $w_{ij}$  berisi ketetangaan suatu lokasi (misalnya A) dengan lokasi lain (misalnya B). Jika  $l=2$  maka  $w_{ij}$  berisi ketetangaan lokasi A dengan tetangga dari lokasi B. Diagonal utama matrik bernilai nol.

Jumlah lokasi yang bertetangaan dapat ditentukan dari jenis pembobotan biner dan inverse jarak, yaitu memberikan kode nol jika bertetangaan dan 1 jika bertetanggan. Pada penelitian ini menggunakan inverse jarak, yaitu:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{jika } d_{ij} < b \\ 0 & , \text{jika } d_{ij} \geq b \end{cases} \quad (6)$$

Fungsi ini memberi kode nol ketika lokasi  $j$  berada di luar radius  $b$  dari lokasi  $i$ , sedangkan apabila lokasi  $j$  berada didalam radius  $b$  maka akan mendapat bobot satu. Dengan demikian fungsi ini menggunakan pengkodean biner. Dengan  $d_{ij}$  dihitung dari:

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \quad (7)$$

Identifikasi order spasial dan time pada persamaan (1) dilakukan melalui pembuatan *Space-Time Autocorrelation Function* (STACF) dan *Space-Time Partial Autocorrelation Function* (STPACF). Penelitian Nurhayati dkk (2013) menyatakan bahwa order model GSTAR ( $p; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ) diidentifikasi berdasarkan *tail-off* dari autokorelasi dan *cut-off* dari autokorelasi parsial setelah *lag time*  $p$  dan *lag* spasial  $\lambda_p$ . Order model dianalogikan seperti pada model STAR.

STACF antara order spasial ke- $k$  dan ke- $l$  pada *lag* waktu ke- $p$  adalah:

$$\rho_{kl}(p) = \frac{\gamma_{kl}(p)}{\sqrt{\gamma_{ll}(0)\gamma_{kk}(0)}} \quad (8)$$

dengan  $\gamma_{kl}$  adalah kovarian *space-time* antara order spasial ke- $k$  dan ke- $l$ , yaitu:

$$\gamma_{kl}(p) = E_t \left[ \frac{[\mathbf{W}^{(l)} \mathbf{Z}_t]^T [\mathbf{W}^{(k)} \mathbf{Z}_{t-p}]^T}{N} \right] \quad (9)$$

Berbeda dengan metode GSTAR, metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) tidak memperhatikan aspek ruang atau spasial. ARIMA merupakan model yang dikembangkan secara intensif oleh George dan Gwilyn Jenkins sehingga nama mereka sering disinonimkan dengan proses *Box-Jenkins* yang diterapkan untuk analisis dan peramalan data runtun waktu (*time series*). Model Autoregresif (AR) pertama kali diperkenalkan oleh Yule (1926) dan kemudian dikembangkan oleh Walker (1931). Akan tetapi, dasar-dasar teoritis dari proses kombinasi ARMA ditemukan oleh Wold. Wold membentuk model ARMA yang dikembangkan pada tiga arah yaitu identifikasi efisien dan prosedur penaksiran (untuk proses AR, MA dan ARMA campuran), perluasan dari hasil tersebut untuk mencakup runtun waktu musiman (*seasonal time series*) dan pengembangan sederhana yang mencakup proses-proses non stasioner (ARIMA) (Makridakis, 1998). Model AR, MA, dan ARMA sebelumnya mengisyaratkan bahwa data *time series* yang diamati mempunyai sifat stasioner. Namun dalam kenyataan data *time series* seringkali tidak stasioner. Jika data yang digunakan tidak stasioner dalam *mean* maka data tersebut akan menjadi stasioner melalui proses diferensi (*difference*). Sedangkan jika data tersebut tidak stasioner dalam varians dan mean, maka perlu dilakukan proses transformasi lambda sebelum proses diferensi. Model dengan data yang stasioner melalui proses *diffrencing* ini disebut model ARIMA.

Dengan demikian jika data stasioner pada proses *diffrencing*  $d$  kali dengan mengaplikasikan ARMA  $(p,q)$  maka model ARIMA menjadi  $(p,d,q)$  dimana  $p$  adalah tingkat AR,  $d$  tingkat *diffrencing* dan  $q$  merupakan tingkat MA. Bentuk umum model ARIMA  $(p,d,q)$  adalah sebagai berikut:

$$(1-\phi_1B^1-\dots-\phi_pB^p)Y_t=\mu'+1-\theta_1B^1-\dots-\theta_qB^q)e_t \quad (10)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

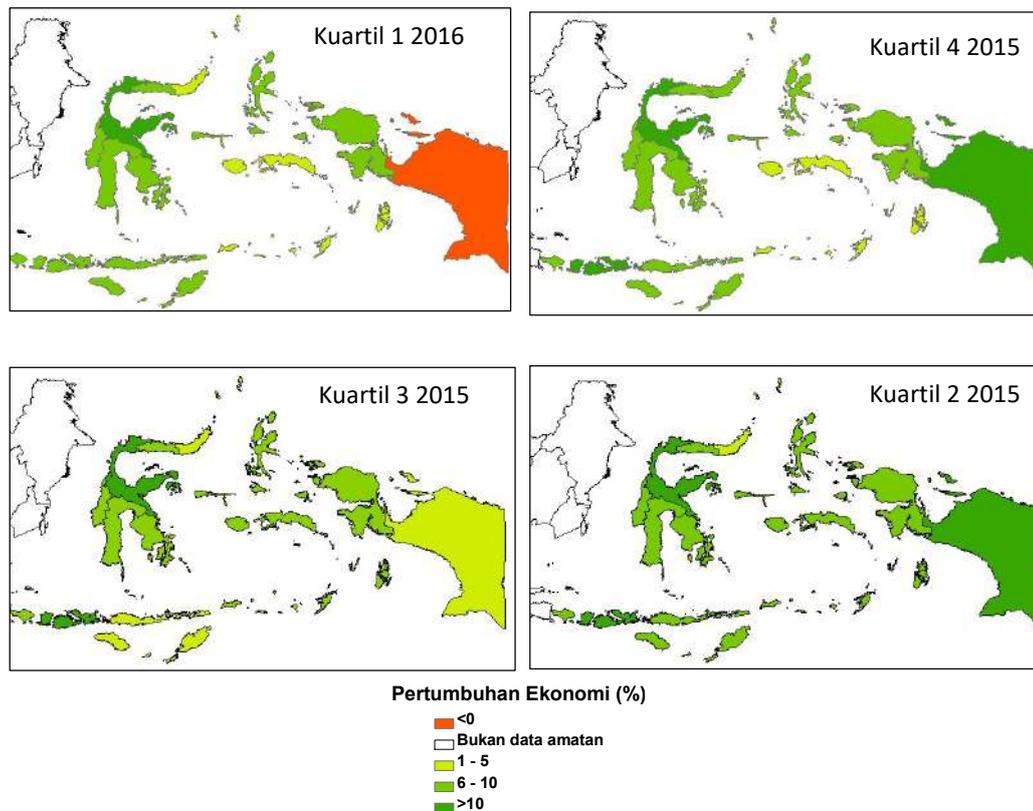
### Karakteristik *Space-Time* Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi di propinsi-propinsi Kawasan Timur Indonesia kuartil 2 tahun 2015 hingga kuartil 1 2016 disajikan di Gambar 2. Pada kuartil 1 tahun 2016, pertumbuhan ekonomi y.o.y tertinggi ada di Propinsi Sulawesi Tengah yaitu 11,81%, sedangkan yang terendah adalah Papua yang mengalami perlambatan sebesar 2,03%. Kemudian pada kuartil 4 tahun 2015, pertumbuhan ekonomi y.o.y tertinggi adalah juga di Propinsi Sulawesi Tengah (15,1%) kemudian disusul oleh Papua (14,08%), sedangkan yang relatif rendah adalah Sulawesi Utara (5,03%) dan NTT (5,13%).

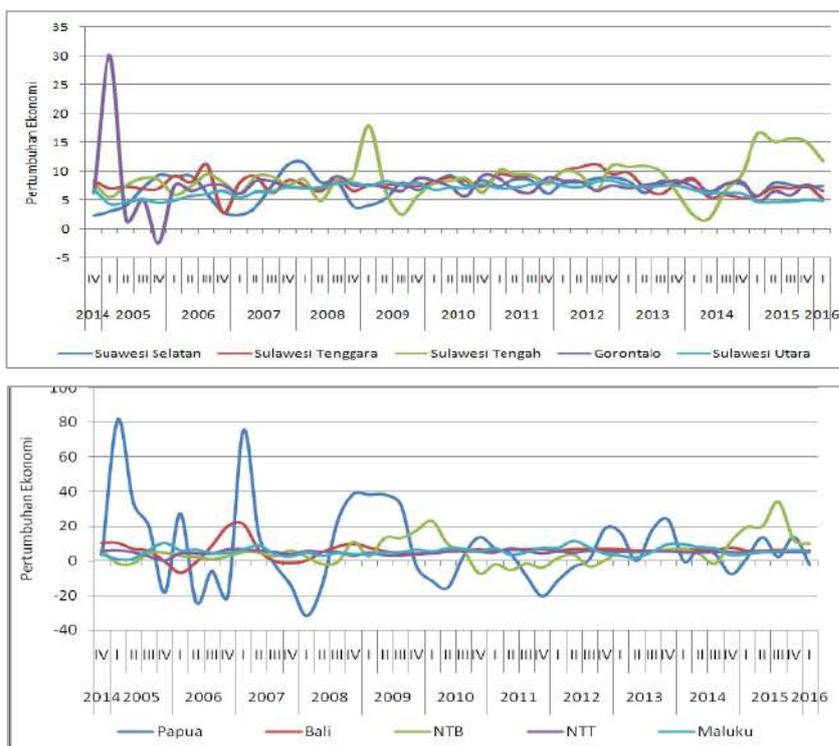
Secara pola spasial pada kuartil 2016, terlihat bahwa propinsi yang berada pada pulau besar cenderung memiliki pertumbuhan ekonomi yang tinggi. Seperti pada Pulau Sulawesi yang memiliki rata-rata pertumbuhan ekonomi y.o.y 7,9%. Hal ini dikarenakan masing-masing propinsi di pulau tersebut berlokasi saling berdekatan dan saling mempengaruhi. Apabila ada propinsi yang memiliki perkembangan ekonomi baik, maka propinsi yang

berdekatan juga akan mendapat keuntungan dan memiliki perkembangan ekonomi baik pula. Selain itu juga didukung oleh kemudahan akses, baik akses ekonomi, fasilitas kesehatan maupun pendidikan. Berbeda dengan beberapa propinsi yang berupa wilayah kepulauan yang cenderung memiliki perkembangan ekonomi relatif rendah. Seperti pada Propinsi Maluku yang memiliki pertumbuhan ekonomi 5,5%. Apabila dilihat dari jarak terhadap pusat kegiatan ekonomi, yaitu Ibukota Jakarta dan Pulau Jawa, Propinsi Papua merupakan propinsi yang berlokasi paling jauh. Pada kuartil 1 tahun 2016, pertumbuhan ekonomi y.o.y Propinsi Papua mengalamai perlambatan. Pertumbuhan ekonomi pada kuartil 2 hingga 4 tahun 2015 juga mencirikan adanya pola spasial. Propinsi yang berada pada satu pulau relatif memiliki pertumbuhan ekonomi yang tinggi, yaitu Pulau Sulawesi. Berdasarkan pembahasan yang ada, maka aspek spasial menjadi penting dalam menganalisis pertumbuhan ekonomi.

Pola pertumbuhan ekonomi menurut periode waktu disajikan di Gambar 3. Selama kuartil 3 tahun 2004 hingga triwulan 1 tahun 2016, pertumbuhan ekonomi di sepuluh propinsi cenderung mengalami fluktuasi menaik dan menurun. Dari lima propinsi di Pulau Sulawesi, Propinsi Gorontalo dan Sulawesi Tengah memiliki fluktuasi yang lebih tinggi dibandingkan propinsi lainnya. Pada beberapa waktu kuartil terakhir, Propinsi Sulawesi Tengah memiliki pertumbuhan ekonomi yang lebih baik dibandingkan propinsi lainnya. Selanjutnya, Propinsi Papua juga terus mengalami fluktuasi.



Gambar 2. Pola Spasial Pertumbuhan Ekonomi Kawasan Timur Indonesia



Gambar 3. Pertumbuhan Ekonomi Kawasan Timur Indonesia

**Estimasi Model GSTAR**

Estimasi model GSTAR dapat dilakukan dengan *Least Square*. Model umum GSTAR ( $p; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ) telah dituliskan seperti di persamaan (1). Pada pembahasan ini diberikan estimasi GSTAR (1;1) yang memiliki bentuk persamaan (2). Model ini dapat disajikan ke dalam bentuk matrik

$$\mathbf{Z} = \mathbf{X}\Phi + \mathbf{e} \tag{11}$$

dimana

$$\mathbf{Z} = (Z_1(1), Z_1(2), \dots, Z_1(T), Z_2(1), Z_2(2), \dots, Z_2(T), Z_N(1), Z_N(2), \dots, Z_N(T))$$

$$\mathbf{X} = \text{diag}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_N)$$

$$\mathbf{X}_i = \begin{pmatrix} Z_i(0) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j(0) \\ Z_i(1) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j(1) \\ \vdots & \vdots \\ Z_i(T-1) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_j(T-1) \end{pmatrix}$$

$$\Phi = (\Phi_{10}^{(1)}, \Phi_{11}^{(1)}, \dots, \Phi_{10}^{(N)}, \Phi_{11}^{(N)})$$

$$\mathbf{e} = (W_1(1), e_1(2), \dots, e_1(T), e_2(1), e_2(2), \dots, e_2(T), e_N(1), e_N(2), \dots, e_N(T))$$

Dengan demikian estimasi untuk parameter  $\Phi$  adalah

$$\Phi = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Z} \tag{12}$$

**Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi dengan Metode GSTAR**

Proyeksi pertumbuhan ekonomi dengan GSTAR dilakukan melalui tahapan: 1) penentuan pembobot, 2) identifikasi order melalui STACF dan STPACF, 3) estimasi, 4) peramalan, dan 5) *check diagnostic*.

**a. Penentuan Pembobot**

Pembobot yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis inverse jarak. Fungsi pembobot pada order ketetangaan ke- $l$  yaitu:

$$w_{ij}^{(l)} = \begin{cases} 1 & , \text{jika } d_{ij} < 9 \\ 0 & , \text{jika } d_{ij} \geq 9 \end{cases}$$

Perhitungan  $d_{ij}$  adalah dengan menghitung jarak *euclidean* antar propinsi. Jarak tersebut menggunakan titik koordinat longitude dan latitude pusat propinsi. Hasil perhitungan jarak disajikan di Tabel 1.

Matrik pembobot order 1 dan order 2 masing-masing disajikan di Tabel 2 dan Tabel 3. Pada pembobot order 1, propinsi yang berada pada radius kurang dari 9 dinyatakan sebagai bertetangga dan di kode 1. Seperti pada Propinsi Sulawesi Selatan yang bertetangga dengan Propinsi Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Utara, Bali, NTB, dan NTT. Pada pembobot order 2 mengandung unsur tetangga dari tetangga order 1. Sebagai contoh, Propinsi Sulawesi bertetangga dengan NTT. Karena Propinsi Maluku bertetangga dengan NTT maka Maluku merupakan tetangga order 2 dari Sulawesi Tenggara.

Tabel 1. Jarak Euclidean antar Propinsi

Propinsi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	1.96	2.90	4.92	6.57	18.52	6.87	5.58	5.91	9.69
2	1.96	0.00	3.28	4.84	5.89	16.59	8.14	6.39	5.12	7.75
3	2.90	3.28	0.00	2.06	3.99	17.86	9.55	8.46	8.33	9.39
4	4.92	4.84	2.06	0.00	2.19	17.14	11.60	10.49	9.95	9.18
5	6.57	5.89	3.99	2.19	0.00	15.34	13.42	12.07	10.74	7.96
6	18.52	16.59	17.86	17.14	15.34	0.00	23.82	21.52	17.11	8.86
7	6.87	8.14	9.55	11.60	13.42	23.82	0.00	2.39	7.11	15.12
8	5.58	6.39	8.46	10.49	12.07	21.52	2.39	0.00	4.72	12.89
9	5.91	5.12	8.33	9.95	10.74	17.11	7.11	4.72	0.00	8.87
10	9.69	7.75	9.39	9.18	7.96	8.86	15.12	12.89	8.87	0.00

Tabel 2. Pembobot Invers Jarak order  $l=1$

Propinsi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
2	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
4	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
8	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
9	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
10	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0

Tabel 3 Pembobot Invers Jarak order  $l=2$

Propinsi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
6	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
8	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
9	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
10	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0

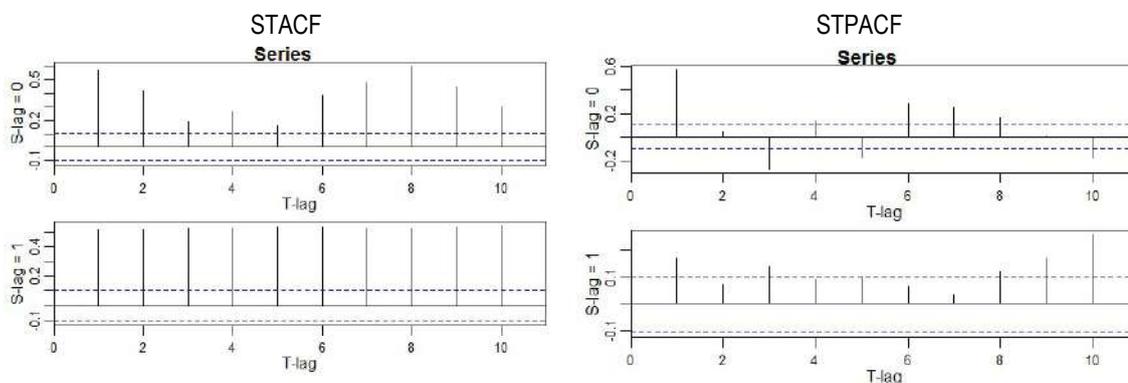
**b. Identifikasi Model**

Identifikasi model GSTAR ( $p; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ) dilakukan dengan membuat *Space Time Autocorrelation Function* (STACF) dan *Space Time Partial Autocorrelation Function* (STPACF). Dengan STACF dan STPACF tersebut, akan didapatkan order  $p$  dan  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ . Berdasarkan Gambar 4 dapat

diketahui bahwa STACF *tail-off*, sedangkan STPACF *cutt-off* pada

- *Time lag* 1,3,4,5,6,7,8 pada spasial *lag* 0
- *Time lag* 1,3,5,8,9,10 pada spasial *lag* 1

Berdasarkan identifikasi tersebut maka terdapat banyak alternatif *order time* dan spasial pada model GSTAR. Namun pada penelitian ini menggunakan satu model GSTAR (1; 1). Model ini didasarkan pada STACF *tail-off* dan STPACF *cutt-off* pada *time lag* 1 spasial *lag* 1.



Gambar 4. Plot STACF dan STPACF

**c. Estimasi Parameter**

Estimasi parameter dilakukan dengan metode *least square*. Model yang akan diestimasi adalah GSTAR (1,  $\lambda_1$ ), dengan persamaan

$$\mathbf{Z}(t) = \Phi_{10}\mathbf{Z}(t-1) + \Phi_{11}\mathbf{W}^{(1)}\mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{e}(t)$$

atau bentuk matrik  $\mathbf{Z} = \mathbf{X}\Phi + \mathbf{e}$ . dengan  $\mathbf{Z}$  adalah matrik berukuran (43x1):

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 2.28 \\ 3.03 \\ 4.04 \\ \vdots \\ 4.10 \\ 5.50 \end{bmatrix}$$

Matrix pembobot  $\mathbf{W}$  adalah berisi ketetangaan order 1. Matrik ini berukuran 10x10. Matrik  $\mathbf{X} = \text{diag}(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_N)$  berukuran 420 x 20, masing-masing  $\mathbf{X}_i$  berukuran 42 x 2. Sebagai contoh matrik  $\mathbf{X}_1$  untuk Propinsi Sulawesi Selatan:

$$\mathbf{X}_1 = \begin{pmatrix} Z_1(1) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_1(1) \\ Z_1(2) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_1(2) \\ \vdots & \vdots \\ Z_1(42) & \sum_{j \neq i} w_{ij} Z_1(42) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.28 & 52.12 \\ 3.02 & 62.06 \\ \vdots & \vdots \\ 5.72 & 61.65 \end{pmatrix}$$

Selanjutnya dilakukan estimasi parameter  $\Phi$ , berupa matrik berukuran 20x1, dengan persamaan:  $\Phi = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Z}$  sehingga didapatkan estimasi parameter seperti di

Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Parameter GSTAR (1; 1)

Lokasi	$\hat{\Phi}_{10}^{(1)}$	$\hat{\Phi}_{11}^{(1)}$	Lokasi	$\hat{\Phi}_{10}^{(1)}$	$\hat{\Phi}_{11}^{(1)}$
Suawesi Selatan	0.773	0.036	Papua	0.309	0.668
Sulawesi Tenggara	0.491	0.076	Bali	0.669	0.075
Sulawesi Tengah	0.539	0.099	NTB	0.689	0.048
Gorontalo	-0.032	0.255	NTT	0.558	0.055
Sulawesi Utara	0.789	0.038	Maluku	0.824	0.027

**d. Check Diagnostic**

Diagnostik cek dilakukan untuk mengetahui layak tidaknya model GSTAR yaitu melalui pengujian asumsi *white noise* multivariate dan normal multivariate pada residual. Uji *white noise* multivariate dilakukan melalui *Portmanteau Multivariate Test* dengan hipotesis:

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_m = 0$$

(residual telah *white noise*)

$$H_1 : \text{residual tidak } white \text{ noise}$$

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa nilai P lag 1 dan 2 lebih dari  $\alpha=5\%$ , maka kesimpulannya adalah residual telah *white noise* pada lag 1 dan

2. Sedangkan uji asumsi normal menggunakan uji multivariate Shapiro Wilks. Hasil pengujian menunjukkan bahwa residual belum memenuhi asumsi berdistribusi normal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai P kurang dari  $\alpha=5\%$ .

Tabel 5. Hasil *Portmanteau Multivariate Test*

Lag	QN(m)	df	Pvalue
1	0.067	1.000	0.730
2	1.798	1.800	0.248
3	20.473	2.571	0.001
4	30.904	3.333	0.001
5	50.904	4.091	0.001
6	64.779	4.846	0.001
7	75.716	5.600	0.001
8	85.112	6.353	0.001
9	92.573	7.105	0.001

10	100.505	7.857	0.001
----	---------	-------	-------

Hasil peramalan untuk kuartil 3 dan 4 tahun 2015 serta kuartil 1 tahun 2016

**e. Peramalan**

Peramalan untuk h periode ke depan adalah menggunakan rumus:

$$\hat{Z}_T(h) = \Phi_{10} \hat{Z}_T(h-1) + \Phi_{11} \mathbf{W}^{(1)} \mathbf{Z}_T(h-1)$$

disajikan di

Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Peramalan dan Perbandingan dengan Data Aktual melalui Metode GSTAR

Propinsi	kuartil 3 tahun 2015		kuartil 4 tahun 2015		kuartil 1 tahun 2016	
	Aktual	Peramalan	Aktual	Peramalan	Aktual	Peramalan
Suawesi Selatan	7.59	7.381	7.24	7.312	7.41	7.309
Sulawesi Tenggara	7	8.797	7.5	8.627	5.2	8.633
Sulawesi Tengah	15.63	12.005	15.1	11.975	11.81	11.967
Gorontalo	5.86	8.124	7.67	8.331	6.61	8.265
Sulawesi Utara	4.73	5.547	5.04	5.557	4.92	5.557
Papua	2.54	3.562	14.08	3.513	-2.03	3.552
Bali	6.3	7.116	5.96	7.064	6.04	7.042
NTB	34.22	12.451	11.98	12.510	9.97	12.489
NTT	5.15	6.119	5.13	6.008	5.06	5.997
Maluku	5.6	3.763	6.5	3.822	5.5	3.813

**Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi dengan Metode ARIMA**

Hasil peramalan menggunakan metode ARIMA disajikan di Tabel 7. Model ARIMA diperoleh melalui proses

uji stasioneritas data, identifikasi model ARIMA berdasarkan plot ACF dan PACF, estimasi parameter, *diagnostic check* (asumsi residual dan white noise), dan peramalan.

Tabel 7. Hasil Peramalan Metode ARIMA dan Perbandingan dengan Data Aktual

Propinsi	Model	Kuartil 3 Tahun 2015		Kuartil 4 Tahun 2015		Kuartil 1 Tahun 2016	
		Aktual	Peramalan	Aktual	Peramalan	Aktual	Peramalan
Suawesi Selatan	ARIMA (3,0,2)	7.59	7.203	7.24	7.328	7.41	7.369
Sulawesi Tenggara	ARIMA (2,0,20)	7	7.651	7.5	7.650	5.2	7.661
Sulawesi Tengah	ARIMA (2,0,1)	15.63	8,273	15.1	8.273	11.81	8.273
Gorontalo	ARIMA (2,0,3)	5.86	5.654	7.67	5.654	6.61	5.654
Sulawesi Utara	ARIMA (1,0,0)	4.73	-27.504	5.04	-28.272	4.92	-29.040
Papua	ARIMA (5,0,5)	2.54	-0.014	14.08	0.013	-2.03	-0.012
Bali	ARIMA (1,0,1)	6.3	6.031	5.96	6.031	6.04	6.031
NTT	ARIMA (1,0,0)	5.15	4.958	5.13	4.958	5.06	4.958
Maluku	ARIMA (2,0,1)	5.6	2.631	6.5	2.631	5.5	2.631

### Perbandingan Metode GSTAR dan ARIMA

Perbandingan metode menggunakan nilai *Mean Square Error* (MSE) seperti pada Tabel 8. Berdasarkan perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa model GSTAR memberikan nilai MSE yang lebih kecil pada peramalan di 5 propinsi dari 9 propinsi. Dengan demikian, metode GSTAR memberikan hasil peramalan yang lebih baik.

Tabel 8. Nilai MSE metode GSTAR dan ARIMA

Propinsi	GSTAR	ARIMA
Suawesi Selatan	0.020	0.053
Sulawesi Tenggara	5.428	2.168
Sulawesi Tengah	7.646	37.748
Gorontalo	2.768	1.674
Sulawesi Utara	0.447	1100.667
Papua	47.954	69.492
Bali	0.963	0.026
NTB	160.170	-
NTT	0.862	0.026
Maluku	4.465	10.672

### KESIMPULAN

Melalui identifikasi pola spasial, dapat diketahui bahwa laju pertumbuhan ekonomi y.o.y di propinsi Kawasan Timur Indonesia memiliki keterkaitan antar lokasi. Dengan demikian diperlukan metode *spatio-temporal* dalam meramalkannya. Metode ini memperhatikan aspek lokasi dan waktu. Berdasarkan identifikasi STACF dan SPACF, teridentifikasi model GSTAR (1;1). Estimasi parameter *least square* menghasilkan estimasi yang berbeda-beda di setiap propinsi. Berdasarkan perbandingan dengan metode ARIMA, GSTAR memberikan hasil peramalan yang lebih baik.

### DAFTAR PUSTAKA

Anselin, L., 1988, *Spatial Econometrics: Methods and Models*, 1<sup>st</sup> Edn., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, ISBN-10: 9024737354, pp. 304.

Bekti, R. D., Sutikno, 2011, Spatial Modeling on the Relationship between Asset Society and Poverty in East Java, *Jurnal Matematika dan Sains*, vol. 16 no. 3, pp. 140-146

Bekti, R. D., Sutikno, 2012, Spatial Durbin Model to Identify Influential Factors of Diarrhea, *Journal of Mathematics and Statistics*, vol. 8, no. 3, pp. 396-402, DOI: 10.3844/jmssp.2012.396.402.

Bekti, R. D., 2012, Prediksi dan Interpolasi Melalui Ordinary Kriging (Studi Kasus: Kemiskinan di Provinsi Jawa Timur), *Journal of Mathematics and Statistics*, vol. 12, pp. 123-132.

Bekti, R. D., Andiyono, & Irwansyah, E., 2014, Mapping Of Illiteracy And Information and Communication Technology Indicators Using Geographically Weighted Regression, *Journal of Mathematics and Statistics*, vol. 10, no. 2, pp.130.

BPS, 2016, *Laju Pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2000 Menurut Provinsi, 2000-2013*, <http://bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1624>, diakses 25 Maret 2016.

BPS, 2011, *Analisis Dampak Spasial pada Peramalan Perekonomian dan Ketenagakerjaan Provinsi*, Jakarta: BPS.

Curran, D., 2009, British Regional Growth and Sectoral Trends—Global and Local Spatial Econometric Approaches (NIRSA), *Working Paper Series*, No. 49.

Gumanti, N. D, Sutikno, Setiawan, 2011, Penerapan Metode GSTAR dengan Pendekatan Spatio-Temporal untuk Memodelkan Kejadian Demam Berdarah, *Skripsi*, Surabaya: ITS.

Lee, C. Y., 2005, Space-Time Modeling and Application To Emerging Infectious Diseases, *Doctoral Dissertation*, Michigan State University.

LeSage, J., 2009, *Introduction to Spatial Econometrics*, 1<sup>st</sup> Edition, Taylor and Francis Group, Boca Raton.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J., 1998, *Forecasting: Method and Applications*, New York: Wiley & Sons.

Nurhayati, N., Pasaribu, U. S., Neswan, O., 2012, Application of Generalized Space-Time Autoregressive Model on GDP Data in West European Countries, *Journal of Probability and Statistics*.

- Pao, H. T., Tsai, C. M., 2011, Modeling and Forecasting The CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth in Brazil, *Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 2450-2458.
- Pao, H. T., Fu, H. C., Tseng, C. L., 2012, Forecasting of CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in China Using An Improved Grey Model, *Energy*, vol. 40, no. 1, pp. 400-409.
- Perkins, D. H., Rawski, T. G., 2008, Forecasting China's Economic Growth to 2025, *China's Great Economic Transformation*, pp. 829-86.
- Resende, G. M., 2013, Spatial Dimensions of Economic Growth in Brazil, *ISRN Economics*.
- Reynolds, K. M., Madden, L. V., 1988, Analysis of Epidemics Using Spatio-Temporal Autocorrelation, *Phytopathology*, vol. 78, no. 2, pp. 240-246.
- Semwal, D., Patil, S., Galhotra, S., Arora, A., Unny, N., 2015, STAR: Real-time Spatio-Temporal Analysis and Prediction of Traffic Insights using Social Media, *Proceedings of The 2nd IKDD Conference on Data Sciences*, pp. 7.
- Walker, A. M., 1931, On the Periodicity in Series of Related Terms, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*.
- Wutsqa, D. U., Suhartono, Sutijo, B., 2010, Generalized Space-Time Autoregressive Modeling, *Proceedings of the 6th IMT-GT Conference on Mathematics, Statistics and its Application (ICMSA 2010)*, University Tunku Abdul Rahman, Malaysia.
- Yildirim, J. U. L. I. D. E., Ocal, N. A. D. I. R., Keskin, H. A. L. I. L., 2011, Military Expenditures, Economic Growth and Spatial Spillovers: A Global Perspective, *Proceedings of International Conference on Applied Economics-ICOAE*.
- Yule, G. U., 1926, Why do We Sometime Get Nonsense Correlations Between Time Series?, *Journal of the Royal Statistical Society*.

#### **BIODATA PENULIS**

**Rokhana Dwi Bakti, M.Si., M.Si.**, lahir di Bojonegoro pada tanggal 06 Maret

1986, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Statistika dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2009, dan S2 bidang Statistika dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2011. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Statistika di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat *statistic modelings* dan *statistic computation*.

**Noviana Pratiwi, S.Si., M.Sc.**, lahir di Grobogan pada tanggal 05 Maret 1986, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Matematika dari Universitas Diponegoro tahun 2008, dan S2 Jurusan Matematika bidang minat Statistika dari Universitas Gadjah Mada tahun 2012. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Statistika di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat *statistic*, *risk management*, dan *experiment design*.

**Petronella Mira Melati**, saat ini tercatat sebagai mahasiswa Program Studi Statistika di IST AKPRIND Yogyakarta.

## APLIKASI KONTROL LAMPU RUMAH BERBASIS SMARTPHONE ANDROID UNTUK MENDUKUNG SMARTHOME

Erfanti Fatkhiyah<sup>1</sup>, Muntaha Nega<sup>2</sup>, Uning Lestari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>erfanti@akprind.ac.id, <sup>2</sup>muntahanega@gmail.com, <sup>3</sup>uning@akprind.ac.id

### ABSTRACT

*Along with the rapid development of technology that runs dynamically, then this has a lot to give a significant effect on the field of property. Utilization of electrical energy is currently less effective because many household electronic appliances that use electrical energy and its use is very excessive. Excessive use of electrical energy will cause electrical energy to be scarce. Technological developments such as smart phones that have many innovations to overcome the problem of use or electricity savings.*

*Electrical switches can be replaced by using a relay and controlled via a microcontroller connected to a pre-programmed smart phone. With the existence of Ethernet shield equipment that can communicate with the microcontroller through serial communication with the command communication on / off switch via a smart phone with wireless connection to the Ethernet shield equipment is a solution to overcome the switch electrical switch, android-based smart phone that has been programmed lamp control can turn off or turn on home lights with distance to the range of available wifi connections.*

**Keywords:** Smarthome, Smartphone android, Virtuino.

### INTISARI

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi yang berjalan dinamis, maka hal ini banyak memberikan efek yang signifikan terhadap bidang properti. Pemanfaatan energi listrik saat ini kurang efektif karena banyak peralatan elektronik rumah tangga yang menggunakan energi listrik serta pemakaiannya sangat berlebihan. Pemakaian energi listrik yang sangat berlebihan akan menyebabkan energi listrik menjadi langka. Perkembangan teknologi seperti ponsel pintar sudah banyak memunculkan inovasi-inovasi untuk mengatasi masalah penggunaan dan penghematan listrik.

Saklar listrik dapat diganti dengan menggunakan *relay* dan dikendalikan melalui mikokontroler yang terhubung dengan ponsel pintar yang sudah terprogram. Dengan adanya peralatan *ethernet shield* yang dapat berkomunikasi dengan mikokontroler melalui komunikasi serial dengan komunikasi perintah *on/off* saklar melalui ponsel pintar dengan koneksi *wireless* ke peralatan *ethernet shield* merupakan solusi pengganti saklar listrik. Ponsel pintar berbasis *android* yang sudah terprogram pengendalian lampu dapat mematikan atau menghidupkan lampu rumah dengan jarak sesuai jangkauan koneksi *wifi* yang tersedia.

**Kata-kata kunci:** Smarthome, Smartphone Android, Virtuino.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat telah mempengaruhi gaya hidup manusia yang semakin mencolok. Teknologi memungkinkan adanya usaha untuk memberikan kemudahan dan kenyamanan bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari. Saat ini hampir semua orang dari berbagai lapisan masyarakat memiliki alat komunikasi seperti handphone, mayoritas masyarakat telah berpindah dari alat

komunikasi telepon rumah ke handphone. Hal ini dikarenakan kelebihanannya yang praktis dan banyak hal yang dapat dilakukan dalam satu genggam saja. Banyak contoh kemajuan teknologi yang ditemukan di masa kini, misal kemajuan teknologi untuk internet, kemajuan teknologi untuk otomotif, kemajuan teknologi dalam bidang kesehatan, kemajuan teknologi dalam bidang pertanian, dan masih banyak lagi yang lainnya.

Salah satu otomatisasi sistem yang dapat diterapkan di rumah adalah sistem yang dapat menghidupkan lampu secara otomatis. Melalui sistem ini diharapkan penghuni rumah dapat menghidupkan lampu secara otomatis melalui *smartphone* Android.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yakni bagaimana membuat suatu sistem kendali lampu rumah untuk menghidupkan dan mematikan lampu secara otomatis yang dapat dikendalikan menggunakan perangkat *smartphone Android* dengan menggunakan fasilitas *Wifi*, mikrokontroler dan menggabungkannya menjadi suatu rangkaian alat yang dapat bekerja sesuai desain yang telah ditentukan, bagaimana merancang aplikasi berbasis *Android* sebagai kontrol desain *prototype smarhome*, dan bagaimana merancang komunikasi antara mikrokontroler dan *Android* menggunakan sambungan internet.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Fungsi sistem hanya untuk sistem menghidupkan dan mematikan lampu menggunakan *smartphone Android* dengan memanfaatkan fasilitas *wifi*.
2. Pengiriman instruksi pengendalian dari perangkat Android harus diakses menggunakan internet.
3. Komunikasi dalam sistem menggunakan jaringan *wifi*, dengan konsol TP-LINK dan tidak mengarah ke jaringan internet yang berpusat *hosting*.
4. Uji coba dilakukan pada sebuah *prototype* yang terpasang LED sebanyak 4 buah sebagai simulasi dari peralatan listrik yang dikendalikan oleh aplikasi Android yaitu *Virtuino*.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu aplikasi yang dapat memudahkan dan bermanfaat dalam mengendalikan lampu rumah secara otomatis dengan menggunakan *smartphone Android* melalui jaringan *wifi* yang saling terhubung dalam jangkauan internet dan diharapkan dapat menjadi salah satu solusi permasalahan sistem kontrol dalam hal kenyamanan.

Dalam penelitian ini digunakan sistem kendali *handphone* sebagai piranti bergerak. Sistem dirancang dengan dua komponen *hardware* dan *software* program sistem. Perancangan antarmuka sistem merupakan bentuk tampilan dari program yang merupakan kemampuan melakukan pengendalian lampu ruang rumah.

Tinjauan pustaka yang digunakan merupakan penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Masinambow (2014) telah merancang sistem untuk mengendalikan saklar listrik melalui ponsel Android dengan menggunakan jaringan *wifi* sebagai media transmisi *input* data dari ponsel Android ke mikrokontroler yang telah terhubung dengan rangkaian *relay* yang berfungsi sebagai saklar listrik. *Smartphone Android* yang terinstal aplikasi jaringan *wifi* ke *Arduino wifi shield* yang akan mengirimkan kembali data ke mikrokontroler melalui komunikasi serial, data yang diterima oleh mikrokontroler akan diproses dan akan mengeluarkan output berupa tegangan 5 volt melalui *pin* digital Arduino yang telah terhubung dengan *relay* dan akan memicu *relay* untuk mengalirkan listrik. Jika program tersebut dijalankan di *smartphone* akan mengirimkan sinyal ke *Wifi Shield* atau *wifi*. *Wifi Shield* meneruskan sinyal ini ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Pengontrolan dalam aplikasi tersebut menggunakan dua mode, yaitu *auto* dan manual. *Mode auto* akan mengendalikan saklar listrik (*relay*) menggunakan waktu (*timer*), sedangkan mode manual bersifat *real time*.

Penelitian yang dilakukan oleh Iyunditya dan Dayanti (2013). Penelitian ini yang berjudul Sistem Pengendalian Lampu Ruangan Secara Otomatis Menggunakan PC Berbasis Mikrokontroler Arduino.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ichwan dkk, 2013) membangun sebuah *prototype* aplikasi sistem pengendalian peralatan listrik pada *platform* Android sebagai alternatif sistem pengendalian peralatan listrik jarak jauh dengan menggunakan ponsel sebagai alat pengendalian untuk mengirim instruksi

dan menerima status keadaan peralatan listrik (lampu). Sistem ini terdiri atas unit kontrol berupa *interface* mikrokontroler dan *ethernet shield* yang berfungsi sebagai jembatan (*bridge*) penghubung antar perangkat komunikasi dan memanfaatkan jaringan internet untuk pengiriman intruksi pengendaliannya. Perbedaan sistem pengendalian pada ponsel ini adalah memanfaatkan teknologi pesan teks atau SMS (*Short Message Service*). Sistem dirancang bekerja dua arah, selain dapat memberi intruksi kepada unit kontrol menggunakan ponsel melalui jaringan internet, terdapat fitur tambahan di mana unit kontrol juga dapat memberikan laporan berupa status dari peralatan listrik. Setelah menerima instruksi, unit kontrol mengolah instruksi yang masuk dengan lebih dulu memeriksa keabsahan instruksi. Mikrokontroler sebagai pemegang peran utama seluruh sistem memeriksa instruksi yang dikirim dengan mencocokkan serial *pin* yang dipasang pada peralatan listrik. Apabila format instruksi sesuai, maka dapat diproses dan dicari keluarannya. Setelah semua selesai, unit kontrol mengirim sinyal ke peralatan listrik dan status yang diinginkan dan unit kontrol dapat mengirim laporan ke aplikasi pada ponsel Android, yaitu status kondisi lampu mana saja yang menyala dan yang mati.

*Smarthome* adalah sebuah sistem berbantuan komputer yang akan memberikan segala kenyamanan, keselamatan, keamanan, dan penghemat energi, yang berlangsung secara otomatis dan terprogram melalui komputer, pada gedung-gedung atau tempat tinggal, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan hampir semua perlengkapan atau alat-alat rumah yang perintahnya dapat dilakukan dengan suara, sinar infra merah, gerakan, atau kendali jarak jauh. *Smart home* bukanlah rumah masa depan, sebab segala kenyamanan dan kemudahan dapat dirasakan pada saat ini, untuk memudahkan para penghuni rumah dalam mengatur segala hal yang berhubungan dengan keamanan hingga soal akses perabotan yang dibuat lebih interaktif dan dapat dikontrol melalui satu

alat saja, yakni aplikasi pada *smartphone* atau perangkat lainnya.

Sistem yang serba otomatis dapat sangat membingungkan para pengguna teknologi yang terbagi antara yang berpengalaman serta yang belum pernah membiasakan diri dengan internet yang serba praktis (pada rentang usia yang lebih tua). Hal ini, tentu akan menjadi tantangan bagi teknologi *smarthome* untuk mulai berinovasi dalam segi pangsa pasarnya.

*Smarthome system* dalam beroperasi dibantu oleh komputer untuk memberikan segala kenyamanan, keselamatan, keamanan, dan penghematan energi yang berlangsung secara otomatis dan terprogram melalui komputer pada gedung atau pun rumah tinggal. *Smarthome system* dapat digunakan untuk mengendalikan hampir semua perlengkapan dan peralatan di rumah, mulai dari pengaturan tata lampu hingga berbagai alat rumah tangga, yang perintahnya dapat dilakukan hanya dengan menggunakan suara, infra merah atau kendali jarak jauh (*remote*).

Menurut Hermawan (2011) Android merupakan OS (*Operating System*) *Mobile* yang tumbuh di tengah OS lainnya yang berkembang di era modern ini, seperti *Windows Mobile*, *i-Phone OS*, dan masih banyak lagi. Akan tetapi, OS Android berjalan dengan memprioritaskan aplikasi inti yang dibangun sendiri tanpa melihat potensi yang cukup besar dari aplikasi pihak ketiga. Untuk mendapatkan data asli dari ponsel, dibutuhkan komunikasi antar proses serta keterbatasan distribusi aplikasi pihak ketiga untuk *platformnya*.

OS Android juga terdiri dari berbagai versi dari awal mula terbentuknya Android sampai sekarang. Jenis-jenis versi OS Android adalah Apple Pie v1.0, Banana Bread v1.1, Cup Cake v1.5, Donut v1.6, Eclair v2.0-2.1, Froyo/Frozen Yogurt v2.2, Ginger Bread v2.3, Honeycomb v3.0-3.2, Ice Cream Sandwich v4.0, Jelly Bean v4.1, Jelly Bean v4.2, Jelly Bean v4.3, Kitkat v4.4.2, Lollipop v5.0, Marsmallow v6.0, dan Nougat v7.0 (Hermawan, 2011).

Android memiliki empat karakteristik sebagai berikut :

### 1. Terbuka

Android dibangun untuk benar-benar terbuka, sehingga sebuah aplikasi dapat memanggil salah satu fungsi inti ponsel seperti membuat panggilan, mengirim pesan teks, menggunakan kamera dan lain-lain. Android merupakan sebuah mesin virtual yang dirancang khusus untuk mengoptimalkan sumber daya memori dan perangkat keras yang terdapat di dalam perangkat. Aplikasi Android bersifat *open source*, sehingga dapat secara bebas diperluas untuk memasukkan teknologi baru yang lebih maju pada saat teknologi tersebut muncul. *Platform* ini akan terus berkembang untuk membangun aplikasi *mobile* yang inovatif.

### 2. Semua aplikasi dibuat sama

Android tidak memberikan perbedaan terhadap aplikasi utama dari telepon dan aplikasi pihak ketiga (*third-party application*). Semua aplikasi dapat dibangun untuk memiliki akses yang sama terhadap kemampuan sebuah telepon dalam menyediakan layanan dan aplikasi yang luas terhadap para pengguna.

### 3. Memecahkan hambatan pada aplikasi

Android memecah hambatan untuk membangun aplikasi yang baru dan inovatif, misalnya, pengembang dapat menggabungkan informasi yang diperoleh dari *web* dengan data pada ponsel seseorang seperti kontak pengguna, kalender atau lokasi geografis.

### 4. Pengembangan aplikasi yang cepat dan mudah

Android menyediakan akses yang sangat luas kepada pengguna untuk menggunakan aplikasi yang semakin baik. Android memiliki sekumpulan *tools* yang dapat digunakan, sehingga membantu para pengembang dalam meningkatkan produktivitas pada saat membangun aplikasi yang dibuat (<http://www.android.com.about/>).

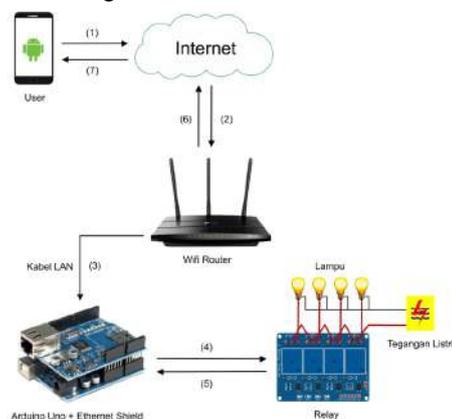
Aplikasi Virtuino untuk Android adalah aplikasi yang diciptakan oleh Ilias Lamprou. Virtuino memungkinkan setiap orang (termasuk orang-orang yang tidak mempunyai *basic programming*) untuk memonitor atau mengontrol data yang

terhubung dengan mikrokontroler Arduino.

Virtuino menggunakan antarmuka grafis yang memungkinkan pengguna untuk melakukan *drag-and-drop* sebuah objek visual untuk menciptakan tampilan data sensor atau aktuator pada sistem Android. Aplikasi ini mendukung sistem monitoring jarak jauh hanya dengan menggunakan media internet. Di dalam aplikasi ini dapat dibuat suatu *interface* dan analog-analog yang disajikan oleh aplikasi Virtuino, mulai dari analog, *charts*, *switches-button*, *leds*, *regulator* dan lainnya (<http://digilib.mercubuana.ac.id/>). Saat ini perangkat arduino banyak dipakai dengan koneksi sebagai berikut :

1. *Bluetooth*
2. *Ethernet Shield*
3. *Wi-fi module ESP8266*
4. *Short Message Service*
5. *Thingspeak data Monitor*

Perancangan tampilan aplikasi bertujuan untuk memberikan gambaran tentang aplikasi yang akan dibangun, sehingga dapat mempermudah implementasi pada aplikasi Android dan Arduino. Gambar 1 menampilkan rancangan arsitektur aplikasi yang dikembangkan.



Gambar 1. Arsitektur Aplikasi

Keterangan:

- *User* terhubung dengan internet menggunakan *smartphone Android* untuk memberikan perintah menyalakan atau mematikan pada lampu.

- *Router* harus terhubung dengan internet agar seluruh sistem dapat berkomunikasi dengan baik. *Router* berfungsi sebagai sumber jaringan internet untuk perangkat mikrokontroler yang akan mengirim dan menerima intruksi dari *user*.
- *Ethernet shield* terhubung dengan *router* melalui kabel LAN agar mikrokontroler mendapatkan jaringan internet.
- Arduino UNO bertugas mengeksekusi intruksi yang masuk kemudian mengirimkan intruksi ke *relay* agar kondisi lampu dapat menyala atau mati.
- Ketika lampu sudah sesuai dengan perintah, maka lampu akan memberikan respon *feedback* terhadap kondisi lampu, apakah lampu tersebut menyala atau mati.
- Respon dari lampu tersebut dibaca oleh Arduino yang dihubungkan dengan *Ethernet Shield* untuk dikirimkan kepada *user*.
- *User* menerima respon berupa status dari keadaan lampu.

### PEMBAHASAN

Langkah awal dalam perancangan sistem ini adalah menentukan logika yang akan diterapkan pada kontrol lampu yang akan dikendalikan, seperti tampak pada Tabel 1. Langkah 2 adalah pengujian kendali lampu *via button on/off*, dan pengujian respon kontrol lampu, sehingga didapatkan hasil seperti Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil dari pengujian respon lampu (langkah 2) pada masing-masing tombol yang akan ditekan untuk menghidupkan dengan pengendalian saklar berbasis waktu, dengan pilihan waktu yang digunakan, maka telah ditetapkan seberapa lama lampu akan menyala dan akan mati, sehingga dapat disimpulkan respon *on/off* tercepat adalah 0,11 detik dan waktu terlama 1,33 detik.

Tabel 1. Tabel logika lampu

No	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4
1	ON	ON	ON	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	ON	OFF
5	OFF	ON	OFF	ON
6	OFF	OFF	OFF	OFF

Tabel 2. Hasil pengujian kendali lampu via button on/off

No	Tombol Button	Status Lampu	Yang Diinginkan	Keterangan	Hasil Pengujian
1	Lampu 1	Lampu 1 ON	Lampu 1 dapat mati	Lampu 1 mati	Sesuai harapan
		Lampu 1 OFF	Lampu 1 dapat menyala	Lampu 1 menyala	Sesuai harapan
2	Lampu 2	Lampu 1 ON	Lampu 1 dapat mati	Lampu 1 mati	Sesuai harapan
		Lampu 1 OFF	Lampu 1 dapat menyala	Lampu 1 menyala	Sesuai harapan
3	Lampu 3	Lampu 1 ON	Lampu 1 dapat mati	Lampu 1 mati	Sesuai harapan
		Lampu 1 OFF	Lampu 1 dapat menyala	Lampu 1 menyala	Sesuai harapan
4	Lampu 4	Lampu 1 ON	Lampu 1 dapat mati	Lampu 1 mati	Sesuai harapan
		Lampu 1 OFF	Lampu 1 dapat menyala	Lampu 1 menyala	Sesuai harapan
5	Hasil dari semuanya	Semua lampu menyala	Semua lampu dapat mati	Semua lampu mati	Sesuai harapan
		Semua lampumati	Semua lampu dapat menyala	Semua lampu mati	Sesuai harapan

Tabel 3. Hasil pengujian respon kontrol lampu

Lampu	Perintah	Keadaan Awal	Akhir	Waktu/detik	Ket
Lampu 1	ON	Mati	Nyala	1.05	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.56	Sukses
Lampu 1	ON	Mati	Nyala	1.06	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	1.33	Sukses
Lampu 1	ON	Mati	Nyala	0.79	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.76	Sukses
Lampu 2	ON	Mati	Nyala	0.50	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.60	Sukses
Lampu 2	ON	Mati	Nyala	0.75	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.68	Sukses
Lampu 2	ON	Mati	Nyala	0.26	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.29	Sukses
Lampu 3	ON	Mati	Nyala	0.35	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.28	Sukses
Lampu 3	ON	Mati	Nyala	0.27	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.20	Sukses
Lampu 3	ON	Mati	Nyala	0.17	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	1.27	Sukses
Lampu 4	ON	Mati	Nyala	0.21	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.41	Sukses
Lampu 4	ON	Mati	Nyala	0.11	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.31	Sukses
Lampu 4	ON	Mati	Nyala	0.22	Sukses
	OFF	Nyala	Mati	0.28	Sukses

Langkah 3 adalah pengujian dengan koneksi *wifi*, dan didapatkan hasil seperti tampak pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian koneksi *wifi*

No	Jangkauan Jarak (Meter)	Kondisi Ruangan	Status	Kesimpulan
1	5	Tanpa penghalang	Lampu menyala	Sukse
		Ada penghalang	Lampu mati	Sukses
2	10	Tanpa penghalang	Lampu menyala	Sukses
		Ada penghalang	Lampu mati	Sukses
3	20	Tanpa penghalang	Lampu menyala	Sukses
		Ada penghalang	Lampu mati	Sukses
4	30	Tanpa penghalang	Lampu menyala	Sukses
		Ada penghalang	Lampu mati	Gagal
5	50	Tanpa penghalang	Lampu menyala	Gagal
		Ada penghalang	Lampu mati	Gagal

**Contoh Hasil Pengujian**

Tampilan halaman *Login* sistem mirip kalkulator yang akan muncul setelah *user* meng-klik aplikasi *virtuino* (Gambar 2). *Login user* menggunakan kombinasi angka minimal 4 digit. Tampilan *login* sistem tampak pada Gambar 3.



Ikon aplikasi *Virtuino* untuk kontrol lampu

Gambar 2. Halaman *splashscreen*



Gambar 3. Halaman *login* sistem

Setelah *user* berhasil melakukan *login*, maka akan masuk ke halaman utama

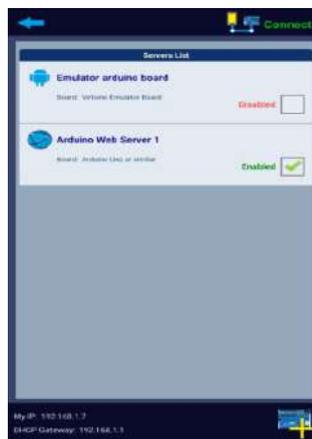
sistem. Pada halaman utama terdapat empat tombol yang berfungsi sebagai pengendali kontrol lampu. Tampilan halaman utama sistem terlihat pada Gambar 4.



Tombol untuk masuk ke Arduino Server

Gambar 4. Halaman Utama Sistem

Tombol dalam lingkaran apabila diklik, maka akan masuk ke *Arduino server*, salah satu fasilitasnya adalah *server list Arduino web server* (Gambar 5) yang merupakan *setting ip* pada *Virtuino* untuk menghubungkan aplikasi ke mikokontroler. Ketika *user* memilih *Arduino web server*, maka akan muncul halaman *setting IP address*, setelah itu *user* memasukkan IP yang diberikan oleh *Ethernet shield*. Untuk dapat terkoneksi dengan *Ethernet shield*, maka harus dilakukan *Test connectivity* dengan menggunakan IP yang sesuai dengan IP *router*, seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 5. Halaman *server setting*



Gambar 6. Arduino setting IP Address

Gambar 7 merupakan *prototype* kontrol lampu yang dikendalikan oleh aplikasi kontrol lampu menggunakan Arduino.



Gambar 7. Prototype kontrol lampu

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Aplikasi ini merupakan aplikasi kontrol lampu rumah melalui perangkat Android yang diterapkan pada sebuah *prototype* rumah cerdas (*smarthome*) yang berfungsi untuk mengendalikan lampu rumah.
2. Aplikasi Android dan mikrokontroler Arduino pada kontrol lampu rumah menggunakan *wifi router* sebagai koneksi dan komunikasi antara Android dan *Smarthome* (Arduino)

dengan jarak pengguna Android terhadap rangkaian kontrolnya adalah 10-50 m tergantung spesifikasi *router*.

3. Pengendalian lampu tidak akan bekerja jika *smarthome* Android di luar jarak jangkauan pencarian *wifi* dari aplikasi *virtuino*, karena sambungan *wifi* akan terputus secara otomatis.

Sistem yang dirancang masih dapat dikembangkan, antara lain:

1. Menambahkan sistem keamanan pada aplikasi selain kombinasi 4 digit, yaitu *login* pada aplikasi, agar tidak semua orang dapat mengaksesnya.
2. Menambahkan fitur kecerahan pada lampu agar dapat diatur tingkat kecerahannya sesuai yang diinginkan.
3. Koneksi *smartphone* Android ke mikrokontroler hanya dapat tersambung pada jangkauan 10-50 m, di luar jangkauan itu koneksi akan terputus. Penambahan *web server* pada sistem aplikasi kontrol lampu akan menambah jangkauan jarak pada koneksi *wifi*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hermawan, S. 2011, *Mudah Membuat Aplikasi Android*, Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Iyunditya, E. dan Dayanti, 2013, *Sistem Pengendalian Lampu Ruang Secara Otomatis Menggunakan PC Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*, Sekolah Tinggi Informatika STMIK (IKMI), Cirebon.
- Masinambow, 2014, *Pengendalian Saklar Listrik Melalui Ponsel Pintar Android*, Teknik Elektro dan Komputer.
- Ichwan, M. G., 2013, *Pembangunan Prototype Sistem Pengendalian Peralatan Listrik Pada Platform Android*, Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung.
- <http://digilib.mercubuana.ac.id/>, diakses 18 April 2018.
- <http://www.smarthomeindonesia.co.id/>, diakses 23 April 2018.
- <http://www.android.com/>, diakses 26 April 2018.

#### **BIODATA PENULIS**

**Erfanti Fatkhiyah, S.T., M.Cs.**, lahir di Yogyakarta pada tanggal 20 Desember 1973 menyelesaikan pendidikan S1 bidang Manajemen Informatika dan Teknik Komputer dari Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta tahun 1998, dan S2 bidang ilmu komputer dari Universitas Gajah Mada tahun 2011. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Manajemen Informatika di Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik asisten ahli pada bidang minat sistem cerdas, basis data, dan sistem informasi.

**Uning Lestari, S.T., M.Kom.**, lahir di Banyumas pada tanggal 31 Agustus

1970, menyelesaikan pendidikan S1 bidang Teknik Informatika dari Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta tahun 1995, dan S2 bidang Ilmu Komputer dari Universitas Gajah Mada tahun 2006. Saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap Program Studi Teknik Informatika di Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor Kepala pada bidang minat data mining, kecerdasan buatan, dan rekayasa perangkat lunak.

**Muntaha Nega**, lahir di OKU pada tanggal 16 Januari 1996, status masih kuliah di Teknik Informatika S1 Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. Bidang minat kecerdasan buatan.

**ANALISIS HUBUNGAN AKTIVITAS KENDARAAN BERMOTOR TERHADAP  
KONSENTRASI SO<sub>2</sub> DAN NO<sub>2</sub> DI UDARA AMBIEN  
(STUDI KASUS: JL. PANEMBAHAN SENOPATI YOGYAKARTA)**

**Sri Hastutiningrum<sup>1</sup>, Sri Sunarsih<sup>2</sup>, Imelda<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, IST AKPRIND Yogyakarta

Email: <sup>1</sup>hastuti19@akprind.ac.id, <sup>2</sup>srisunarsih@akprind.ac.id, <sup>3</sup>imeltraveller@gmail.com

Masuk: 13 Juli 2018, Revisi masuk: 21 Juli 2018, Diterima: 22 Juli 2018

**ABSTRACT**

*The aims of this study is to determine the correlation between vehicle traffic activity and the effect of sampling time on the SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> concentration in ambient air. The sampling location is on Jl. Senopati Yogyakarta.*

*Sampling was carried out by an air absorption tool with 1.5-meter-high auxiliary from the ground. To measure SO<sub>2</sub> using Pararosanilin method and Griess Saltzman method for NO<sub>2</sub>. The stages of this study begin with the preparation of TCM absorption solutions for SO<sub>2</sub>, Griess Saltzman absorbent solution for NO<sub>2</sub>, calibration curve manufacture, and vehicle volume calculation. Determination of concentration is done by UV-Vis spectrophotometer Thermo Scientific Genesys 20. Time sampling is divided into weekdays (Tuesday-Wednesday) and weekend (Saturday-Sunday) with sampling time on 03.00-04.00, 07.00-08.00 a.m, and 12.00-01.00, 04.00-05:00 and 07.00-08.00 p.m.*

*The result of the study shows that the concentration of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in ambient air is not related (correlated) with vehicle activity at Jl. Senopati Yogyakarta, as well as sampling time that did not affected. The highest SO<sub>2</sub> concentration was recorded at 232,05µg/Nm<sup>3</sup> while the highest NO<sub>2</sub> concentration was 17.9522 µg/Nm<sup>3</sup>. Both is not exceed of air quality standard 900µg/Nm<sup>3</sup> and 400 µg/Nm<sup>3</sup>.*

**Keywords:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, ambient air, sampling time, vehicle volume.

**INTISARI**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara aktivitas kendaraan bermotor dan pengaruh waktu *sampling* terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien. Lokasi *sampling* berada di Jalan Senopati Yogyakarta. *Sampling* dilakukan dengan alat jalur absorpsi udara dengan ketinggian alat diatur setinggi 1,5 m dari tanah. Pengukuran SO<sub>2</sub> menggunakan metode Pararosanilin dan *Griess Saltzman* untuk NO<sub>2</sub>.

Tahap dari penelitian ini dimulai dengan pembuatan larutan penjerap TCM untuk SO<sub>2</sub>, larutan penjerap *Griess Saltzman* untuk NO<sub>2</sub>, pembuatan kurva kalibrasi, dan penghitungan volume kendaraan. Penentuan konsentrasinya dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis Thermo Scientific Genesys 20. Waktu *sampling* dibagi menjadi hari kerja (Selasa-Rabu) dan hari libur (Sabtu-Minggu) dengan jam *sampling* pukul 03.00-04.00, 07.00-08.00, 12.00-13.00, 16.00-17.00, dan 19.00-20.00 WIB.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi penelitian konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien tidak berhubungan (berkorelasi) dengan tingkat aktivitas kendaraan bermotor di Jalan Senopati Yogyakarta, begitu pula waktu *sampling* yang tidak berpengaruh. Konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi tercatat sebesar 232,05 µg/Nm<sup>3</sup>. Keduanya tidak melampaui baku mutu udara ambien DIY yaitu 900 µg/Nm<sup>3</sup> dan 400 µg/Nm<sup>3</sup>.

**Kata-kata kunci:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Udara ambien, Waktu *sampling*, Volume kendaraan.

**PENDAHULUAN**

**Pencemaran Udara**

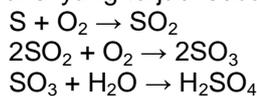
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) udara merupakan campuran berbagai gas yang tidak

berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang dihirup oleh manusia saat bernapas, ruang di atas bumi yang berisi hawa; angkasa,

keadaan hawa atau cuaca. Udara dalam istilah meteorologi disebut dengan atmosfer. Atmosfer merupakan campuran gas-gas yang tidak bereaksi satu dengan yang lainnya, atau dalam kata lain bersifat *innert* (Wiyandari, 2010). Udara yang dihirup oleh manusia sehari-hari merupakan udara ambien. Menurut Badan Standarisasi Nasional udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya.

Menurut Hadi (2015), secara umum pengambilan sampel udara ambien diperuntukkan pada daerah pemukiman penduduk, perkantoran, kawasan sekitar industri, atau daerah lain yang dianggap penting untuk mengetahui kualitas udara ambien akibat suatu kegiatan tertentu. Tidak pernah ditemukan di alam udara yang bebas dari pencemaran, sedangkan kualitas udara yang baik sangat diperlukan oleh makhluk hidup. Menurunnya kualitas udara akibat terjadinya pencemaran di suatu wilayah seringkali baru dirasakan setelah dampaknya menyebabkan gangguan kesehatan makhluk hidup termasuk pada manusia (Wardani, 2012).

Lapisan troposfer merupakan lapisan yang paling mudah mengalami pencemaran. Salah satu akibat dari pencemaran udara adalah terjadinya fenomena hujan asam (*acid rain*). Hujan asam dapat terjadi ketika gas emisi belerang oksida ( $SO_x$ ) bereaksi dengan uap air ( $H_2O$ ) dibantu oleh cahaya matahari dan berubah menjadi senyawa asam seperti asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Senyawa tersebut bersama dengan senyawa kimia lainnya akan berada di bumi sebagai aerosol-aerosol dan partikulat-partikulat atau dapat juga turun bersama hujan, salju, kabut atau embun.

Atmosfer bumi memiliki 4 lapisan yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, dan termosfer. Udara yang dihirup oleh manusia berada pada lapisan troposfer. Komposisi udara di lapisan troposfer

terdiri dari 78% nitrogen ( $N_2$ ), 21% oksigen ( $O_2$ ), 1% argon (Ar), dan 0,03% karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan beberapa gas lainnya yang mempunyai sifat lembab. Tabel 1 menampilkan beberapa komposisi udara di atmosfer.

Tabel 1. Konsentrasi Gas di Atmosfer Bumi

Gas atau Uap	Konsentrasi (%)
Nitrogen ( $N_2$ )	78
Oksigen ( $O_2$ )	21
Argon (Ar)	0,9
Uap air ( $H_2O$ )	$1 \times 10^{-5} - 3$
Karbon dioksida	$3,7 \times 10^{-2}$
Neon (Ne)	$1,818 \times 10^{-3}$
Kripton (Kr)	$1,14 \times 10^{-4}$
Metana ( $CH_4$ )	$1,72 \times 10^{-4}$
Helium (He)	$5,24 \times 10^{-4}$
Ozon ( $O_3$ )	$2 \times 10^{-3}$
Dinitrogen oksida ( $N_2O$ )	$3,3 \times 10^{-5}$
Hidrogen ( $H_2$ )	$5 \times 10^{-5}$
Karbon monoksida (CO)	$1,1 \times 10^{-5}$
Amonia ( $NH_3$ )	$4 \times 10^{-7}$
Nitrogen dioksida ( $NO_2$ )	$1 \times 10^{-7}$
Sulfur dioksida ( $SO_2$ )	$1 \times 10^{-7}$
Nitrit oksida (NO)	$5 \times 10^{-9}$
Hidrogen sulfide ( $H_2S$ )	$5 \times 10^{-9}$

Sumber: Godish (2004)

Menurut Permen LH No. 12 Tahun 2010 tentang pelaksanaan pengendalian pencemaran udara di daerah, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu udara yang telah ditetapkan. Menurut Soedomo (2001) udara merupakan faktor penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara.

#### **Pengaruh Sulfur Oksida ( $SO_x$ ) Terhadap Lingkungan Pengaruh $SO_x$ Terhadap Manusia**

Menurut Fardiaz (1992), tumbuhan memiliki tingkat sensitivitas terhadap

polutan  $SO_x$  jauh lebih tinggi dibanding sensitivitas manusia dan hewan. Pengaruh utama polutan  $SO_x$  terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada konsentrasi  $SO_2$  sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada konsentrasi 1-2 ppm.  $SO_2$  dianggap polutan yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan dan kardiovaskular. Individu dengan gejala tersebut sangat sensitif terhadap kontak dengan  $SO_2$ , meskipun dengan konsentrasi yang relatif rendah, misalnya 0,2 ppm atau lebih. Seperti  $H_2SO_4$ ,  $SO_2$  dan garam sulfat dapat mengakibatkan iritasi mukus membran pada saluran pernafasan yang dapat berkembang ke penyakit saluran pernafasan kronis, *particular bronchitis*, dan *emphysema pulmonary*.

#### **Pengaruh $SO_x$ Terhadap Tumbuhan**

Selain berdampak pada manusia,  $SO_2$  juga berdampak pada tumbuhan. Paparan gas  $SO_2$  secara akut dengan konsentrasi tinggi dapat mematikan jaringan daun pada tumbuhan dimana kondisi ini disebut *necrosis* pada daun. Sedangkan paparan gas  $SO_2$  secara kronis dapat menyebabkan daun yang biasanya berwarna hijau mengalami *bleaching* maupun menguning, kondisi ini disebut *chlorosis* (Manahan, 2010).

Menurut Fardiaz (1992) kerusakan tanaman oleh  $SO_2$  dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi  $SO_2$  dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati dan biasanya warnanya memucat. Kerusakan kronis (kontak dalam waktu lama dengan konsentrasi rendah) menyebabkan daun menguning karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil. Kerusakan akut pada tanaman disebabkan kemampuan tanaman untuk mengubah  $SO_2$  yang diabsorpsi menjadi menjadi  $H_2SO_4$  kemudian menjadi sulfat. Garam-garam tersebut terkumpul pada ujung atau tepi daun. Sulfat yang

terbentuk pada daun berkumpul dengan sulfat yang diabsorpsi melalui akar, dan jika akumulasi cukup tinggi, terjadi gejala kronis yang disertai dengan gugurnya daun. Tingkat sensitivitas tanaman bervariasi dari spesies ke spesies terhadap kerusakan  $SO_2$ . Meskipun dalam satu spesies, terjadi perbedaan sensitivitas yang disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti suhu, air tanah, konsentrasi nutrisi, dan sebagainya.

#### **Nitrogen Oksida ( $NO_x$ )**

Terdapat sejumlah gas dan senyawa partikulat nitrogen (N) di atmosfer. Gas dan senyawa partikulat tersebut termasuk  $N_2$ ,  $N_2O$ , NO,  $NO_2$ , nitrat radikal ( $NO_3$ ),  $N_2O_5$ ,  $HNO_2$ , asam nitrit ( $HNO_3$ ), nitrat organik seperti *peroxyacyl* nitrat ( $CH_3COO_2NO_2$ ) yaitu PAN, dan sedikit senyawa N seperti  $NH_3$  dan HCN. Dalam bentuk ion,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ , dan  $NH_4^+$  ditemukan dalam bentuk cairan.

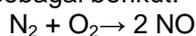
Nitrogen merupakan gas yang paling banyak terdapat di atmosfer. Pada kondisi ambien, nitrogen relatif tidak bersifat reaktif dan tidak berperan langsung dalam reaksi kimia di atmosfer. Namun, sebagai hasil dari reaksi pembakaran dan proses biologi, nitrogen menjadi pelopor molekul untuk menghasilkan NO dan  $NO_2$  yang sangat berperan secara signifikan dalam reaksi kimia yang terjadi di lapisan troposfer dan stratosfer. Karena NO dan  $NO_2$  mudah berubah bentuk dari bentuk satu ke bentuk lainnya, maka NO dan  $NO_2$  dinyatakan sebagai  $NO_x$ .

Nitrogen reaktif ( $NO_y$ ) termasuk senyawa  $NO_x$  maupun hasil oksidasinya (hasil samping) seperti  $HNO_2$ ,  $HNO_3$ ,  $NO_3$ ,  $N_2O_5$ , asam *peroxynitric* ( $HNO_4$ ), PAN dan sejenisnya, alkil nitrat ( $RONO_2$ ) dan peroxyalkil nitrat ( $ROONO_2$ ). Total  $NO_y$  adalah diukur dari total kandungan nitrogen (N) yang dioksidasi di atmosfer.

Meskipun relatif dalam konsentrasi yang rendah, NO,  $NO_2$ , nitrat organik, gas dan partikulat asam nitrogen, dan  $NH_3$  berperan secara signifikan pada reaksi kimia di atmosfer (terutama pada pencemaran lingkungan). Dinitrogen oksida ( $N_2O$ ), nitrogen monoksida (NO), nitrogen dioksida ( $NO_2$ ), dan nitrogen oksida ( $NO_x$ ) merupakan polutan yang

paling banyak diperhatikan dalam hal pencemaran udara. N<sub>2</sub>O merupakan gas yang tidak berwarna, sedikit manis, dan termasuk gas yang relatif tidak bersifat toksik. N<sub>2</sub>O banyak digunakan sebagai obat bius. Paparan N<sub>2</sub>O pada manusia dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan semacam histeria dan gas ini sering disebut sebagai gas tertawa. N<sub>2</sub>O diketahui tidak dapat hilang dengan sendirinya dari troposfer. Gas ini mempunyai waktu tinggal yang sangat lama (kurang lebih 150 tahun). Proses fotolisis dan oksidasi lanjut oleh oksigen tunggal (O(<sup>1</sup>D)) di stratosfer merupakan proses satu-satunya yang diketahui sebagai mekanisme hilangnya gas tersebut di stratosfer. Dengan demikian, N<sub>2</sub>O merupakan sumber alami utama dari NO<sub>x</sub> di stratosfer yang berperan penting dalam reaksi kimia ozon (O<sub>3</sub>) di stratosfer.

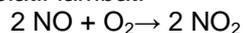
Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan relatif tidak bersifat toksik. NO dihasilkan secara alami di tanah melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi biologi dan dari hasil pembakaran biomassa, pencahayaan, dan oksidasi NH<sub>3</sub> dari proses fotokimia. NO juga dapat berpindah dari stratosfer ke troposfer. Kegiatan antropogenik menghasilkan NO pada pembakaran dengan suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut:



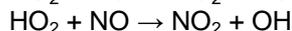
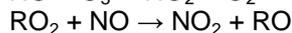
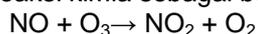
Sumber antropogenik utama yang menghasilkan NO termasuk penggunaan bensin dan diesel pada kendaraan bermotor, bahan bakar fosil, pembangkit tenaga listrik, ketel uap pada industri, insenerasi, dan kegiatan rumah tangga yang membutuhkan panas. Konsentrasi NO umumnya selalu dikaitkan dengan konsentrasi NO<sub>2</sub>. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa puncak konsentrasi NO berlangsung pada pagi hari (pukul 6-9 pagi) dan semakin menurun karena beroksidasi menjadi NO<sub>2</sub>.

Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) merupakan gas yang memiliki variasi warna mulai dari kuning hingga coklat tergantung konsentrasi di atmosfer. NO<sub>2</sub> memiliki bau yang menyengat dan bersifat iritatif,

dan karena tingkat oksidasinya yang tinggi, NO<sub>2</sub> relatif bersifat toksik dan korosif. NO<sub>2</sub> dapat dihasilkan dari beberapa proses di atmosfer. Berikut ini termasuk reaksi oksidasi langsung yang relatif lambat:



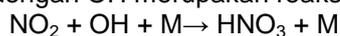
Dan beberapa reaksi fotokimia yang melibatkan O<sub>3</sub>, RO<sub>2</sub> dan lebih banyak jenis hidrogen (OH, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), memiliki reaksi kimia sebagai berikut:



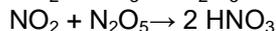
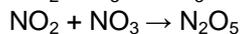
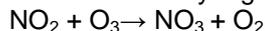
Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa yang dihasilkan dari reaksi oksidasi fotokimia NO. Waktu puncak tingkat konsentrasi NO<sub>2</sub> di area perkotaan dan pinggiran kotabiasanya terjadi pada tengah hari.

Konsentrasi NO<sub>x</sub> rata-rata (berdasarkan pada jumlah NO dan NO<sub>2</sub>) yang diukur di lokasi terpencil (sedikit populasi) dilaporkan memiliki konsentrasi 0,02 hingga 0,04 ppbv di lingkungan (daerah) laut dan 0,02 hingga 10 ppbv di lingkungan hutan tropis. Konsentrasi maksimum dapat mencapai 200 ppbv pada pagi hari (pukul 6-9 pagi) di daerah perkotaan dan pinggiran kota.

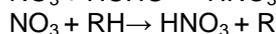
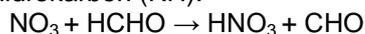
Proses hilangnya NO dan NO<sub>2</sub> melibatkan reaksi kimia yang mengubah NO menjadi NO<sub>2</sub> dan merubah NO<sub>2</sub> menjadi HNO<sub>3</sub>. Proses reaksi NO<sub>2</sub> dengan OH merupakan reaksi utama:



NO<sub>2</sub> juga dapat diubah menjadi HNO<sub>3</sub> pada malam hari yang melibatkan O<sub>3</sub>:

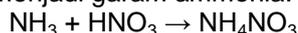


Reaksi antara O<sub>3</sub> dan NO<sub>2</sub> menghasilkan NO<sub>3</sub>· (radikal) yang kemudian bereaksi dengan NO<sub>2</sub> menghasilkan N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (yang bereaksi dengan uap air untuk menghasilkan HNO<sub>3</sub>). Reaksi dengan asam nitrat juga menghasilkan NO<sub>3</sub>· dan formaldehid (HCHO) atau radikal hidrokarbon (RH):

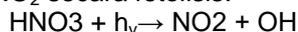


Nitrat radikal berperan penting pada proses oksidasi yang berlangsung pada waktu malam hari yang dihasilkan dari aktivitas biogenik dan menghasilkan

VOCs seperti senyawa isoprene dan pinenes yang berperan penting dalam reaksi kimia  $O_3$  di troposfer. Nitrat radikal mudah terfotolisis oleh cahaya matahari pada kondisi seimbang antara  $NO_2$ ,  $NO_3$  dan  $N_2O_5$  menjadi  $NO_2$  ( $NO_2$  radikal). Asam nitrat tetap berada pada fase gas hingga dia bereaksi dengan  $NH_3$  untuk menjadi garam ammonia:



Asam nitrat dan garam yang dihasilkan dapat hilang dari atmosfer melalui proses pengendapan basah maupun kering. Di lapisan troposfer bagian bawah, waktu tinggal nitrat kurang lebih selama 1 minggu. Karena sifatnya yang tidak mudah larut,  $NO$  dan  $NO_2$  mudah berpindah ke bagian atas lapisan troposfer, yang selanjutnya menghasilkan  $HNO_3$  pada reaksinya dengan  $OH$ . Asam nitrat yang dihasilkan di bagian atas lapisan troposfer tidak mengalami pengendapan kering maupun basah, namun bertransformasi menjadi  $NO_2$  secara fotolisis:



Pada tingkat yang lebih rendah,  $HNO_3$  dioksidasi oleh  $OH$ . Karena reaksi ini berlangsung relatif lambat,  $HNO_3$  menjadi tempat untuk  $NO_x$  berpindah tempat di atmosfer.

Menurut Fardiaz (1992) berbagai pengaruh merugikan yang ditimbulkan karena polusi  $NO_x$  bukan disebabkan oleh oksida tersebut, tetapi karena peranannya dalam pembentukan oksidan fotokimia yang merupakan komponen berbahaya di dalam asap. Produksi oksidan tersebut terjadi jika terdapat polutan-polutan lain yang mengakibatkan reaksi-reaksi yang melibatkan  $NO$  dan  $NO_2$ . Reaksi-reaksi tersebut disebut siklus fotolitik  $NO_2$  dan merupakan akibat langsung dari interaksi antara sinar matahari dengan  $NO_2$ .

#### **Pengaruh Nitrogen Oksida ( $NO_x$ ) Terhadap Manusia**

Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu  $NO$  dan  $NO_2$  sangat berbahaya terhadap manusia. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa  $NO_2$  empat kali lebih beracun daripada  $NO$ . Pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer,  $NO$  tidak mengakibatkan iritasi

dan tidak berbahaya, tetapi pada konsentrasi udara ambien yang normal dapat mengalami oksidasi menjadi  $NO_2$  yang lebih beracun (Fardiaz, 1992). Seperti halnya karbon monoksida ( $CO$ ) dan nitrit,  $NO$  melekat pada hemoglobin dan menghambat transport oksigen dalam darah. Paparan  $NO_2$  secara akut dapat membahayakan kesehatan manusia (Manahan, 2010).

#### **Pengaruh $NO_x$ Terhadap Tumbuhan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, paparan  $NO_2$  pada tumbuhan dapat menyebabkan bercak pada daun dan kerusakan pada jaringan tumbuhan. Paparan  $NO$  hingga 10 ppm dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis pada tumbuhan (Manahan, 2010).

Percobaan dengan cara pengasapan tanaman dengan  $NO_2$  menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan  $NO_2$  dengan konsentrasi 1 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3,5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun (Edy, 2005).

#### **Pengaruh Suhu dan Tekanan Atmosfer Terhadap $SO_2$ dan $NO_2$**

Inversi suhu dan tekanan mempunyai efek yang besar terhadap pencemaran udara, termasuk keberadaan  $SO_2$  dan  $NO_2$  yang merupakan salah satu polutan udara. Umumnya, suhu atmosfer menurun seiring dengan bertambahnya ketinggian, artinya semakin tinggi suatu tempat maka suhunya akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena panas dari energi matahari diserap oleh permukaan tanah sehingga menyebabkan suhu di permukaan lebih hangat. Udara yang hangat tadi kemudian naik ke atmosfer dan menyebar luas sehingga udara menjadi dingin. Namun terkadang, suhu udara juga meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian. Kondisi ini disebut inversi suhu, karena suhu di atmosfer berkonversi tidak semestinya.

Terdapat dua jenis inversi suhu yaitu permanen dan permukaan. Inversi permanen terjadi di altitud yang tinggi di atmosfer tepatnya di stratosfer. Inversi

suhu di stratosfer menyebabkan dampak global polusi udara jangka panjang. Sedangkan inversi permukaan terjadi di bagian lapisan troposfer paling rendah (permukaan bumi). Hal ini terjadi karena pendinginan di permukaan berlangsung cepat yang disebabkan pelepasan radiasi energi sepanjang malam. Inversi permukaan ini menyebabkan dampak lokal sehingga menyebabkan polusi udara jangka pendek (Bennett, 2017).

Kaitannya dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  di udara, proses inversi permukaanlah yang berperan di dalamnya. Kondisi yang mendukung terjadinya inversi permukaan yang kuat antara lain angin yang tenang, langit yang cerah, dan waktu malam yang lebih panjang. Angin yang tenang menghalangi udara panas untuk mencapai permukaan tanah, dan langit yang cerah meningkatkan laju pendinginan permukaan. Sedangkan malam yang panjang memungkinkan pendinginan tanah berlangsung sepanjang waktu, yang menghasilkan penurunan suhu yang cukup besar pada permukaan. Ketika musim dingin, waktu malam akan lebih panjang dibandingkan ketika musim panas, sehingga inversi permukaan akan berdampak lebih kuat selama musim dingin. Umumnya, pada siang hari inversi permukaan akan melemah dan hilang sebagai panas matahari pada permukaan bumi. Namun, pada kondisi tertentu seperti pada area yang bertekanan tinggi, inversi ini dapat berlangsung selama beberapa hari. Selain itu, bentuk topografi suatu area juga dapat menambah formasi terjadinya inversi permukaan, khususnya pada lokasi membentuk lembah. Saat terjadi inversi permukaan, suhu udara panas yang berada di atas suhu udara dingin berperan seperti penutup, menekan secara vertikal dan menangkap udara yang dingin pada permukaan. Polutan-polutan udara yang berasal dari kendaraan bermotor, kebakaran, kegiatan industri, dan lain-lain diemisikan ke udara dan inversi ini akan menangkap polutan tersebut sehingga terjadi penurunan kualitas udara di permukaan.

### **Pengaruh $\text{NO}_x$ terhadap tumbuhan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di laboratorium, paparan  $\text{NO}_2$  pada tumbuhan dapat menyebabkan bercak pada daun dan kerusakan pada jaringan tumbuhan. Paparan  $\text{NO}$  hingga 10 ppm dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis pada tumbuhan (Manahan, 2010). Percobaan dengan cara pengasapan tanaman dengan  $\text{NO}_2$  menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan  $\text{NO}_2$  dengan konsentrasi 1 ppm, sedangkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3,5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan pada jaringan daun (Edy, 2005).

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **Pengambilan Sampel $\text{SO}_2$ dan $\text{NO}_2$ di Udara Ambien**

1. Penentuan waktu *sampling* didasari oleh pertimbangan kepadatan aktivitas kendaraan saat hari kerja dan hari libur. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa akan terjadi perbedaan kadar  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  di udara ambien di Jl. Panembahan Senopati Yogyakarta sebagai akibat perbedaan kepadatan aktivitas kendaraan bermotor yang berlalu lalang. Waktu *sampling* dilakukan pada hari Selasa-Rabu (hari kerja) dan hari Sabtu-Minggu (hari libur).
2. *Sampling* dilakukan selama 4 hari (Selasa-Rabu dan Sabtu-Minggu). Dalam 1 hari dilakukan 5 kali *sampling* yaitu pada pukul 07.00-08.00, pukul 12.00-13.00, pukul 16.00-17.00, pukul 19.00-20.00, dan pukul 03.00-04.00 WIB. Hal tersebut didasari atas asumsi kepadatan aktivitas kendaraan yang berbeda pada waktu-waktu tersebut. Selain itu juga pengaruh keberadaan cahaya matahari yang juga diasumsikan akan mempengaruhi kadar  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  di udara ambien.
3. Untuk *sampling*  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  mula-mula satu set alat *sampling* udara jalur absorpsi disiapkan. Larutan penjerap  $\text{SO}_2$  (TCM) dan larutan Griess Saltzman dimasukkan sebanyak 10 mL ke masing-masing botol *midget impinger*. Botol *midget*

*impinger* diatur agar terlindung dari hujan dan sinar matahari langsung. Pompa penghisap udara dihidupkan dan diatur kecepatan alir 0,5 L/menit untuk SO<sub>2</sub> dan 0,4 L/menit untuk NO<sub>2</sub>. Setelah stabil dicatat laju alir awal F<sub>1</sub> (L/menit). Pengambilan contoh uji dilakukan selama 1 jam dan dicatat temperatur dan tekanan udara. Setelah 1 jam, dicatat laju alir akhir F<sub>2</sub> (L/menit) dan kemudian pompa penghisap dimatikan. Setelah pengambilan contoh uji (sampel) didiamkan selama 20 menit untuk menghilangkan pengganggu.

#### Perhitungan Volume Lalu Lintas

Untuk perhitungan volume lalu lintas dilakukan pengukuran volume kendaraan dengan bantuan alat *counter* sebagai alat hitung yang dilakukan selama pengambilan sampel konsentrasi polutan udara. Pengukuran dilakukan mengikuti lamanya pengambilan sampel polutan udara dan dilakukan pencatatan setiap 15 menit. Setelah memperoleh data volume kendaraan kemudian dikalikan

dengan nilai satuan mobil penumpang (smp) sehingga didapat volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang per jam (smp/jam).

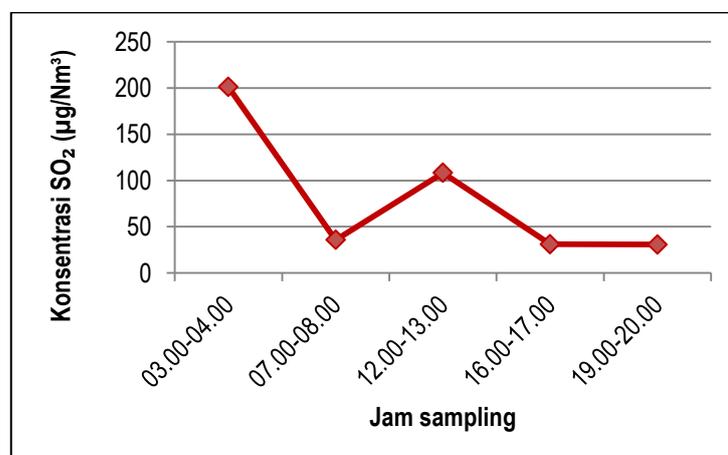
#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Pengukuran Konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di Jl. Panembahan Senopati

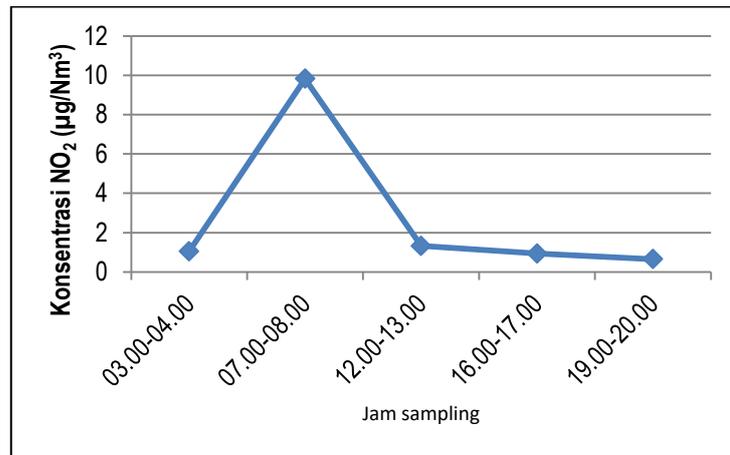
Pengukuran konsentrasi polutan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di Jalan Panembahan Senopati Yogyakarta dilakukan selama 4 hari pengamatan yaitu pada hari kerja (Selasa-Rabu) dan hari libur (Sabtu-Minggu) dengan 5 jam pengamatan per hari (pukul 07.00-08.00, 12.00-13.00, 16.00-17.00, 19.00-20.00 dan 03.00-04.00 WIB). Pengukuran konsentrasi polutan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dilakukan secara bersamaan dengan perhitungan data lalu lintas yaitu volume kendaraan. Data hasil perhitungan konsentrasi polutan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> pada hari Selasa ditampilkan pada Tabel 2. Dari pengamatan dan pengolahan data yang dilakukan dapat dilihat fluktuasi konsentrasi polutan seperti tampak pada grafik dalam Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 2. Perhitungan Konsentrasi Polutan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> pada Hari Selasa Jam *Sampling*

Waktu	Volume Sampel (L)		Pembacaan Absorbansi		Berat Sampel (mg)		Konsentrasi (µg/Nm <sup>3</sup> )	
	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
03.00-04.00	24,1292	30,1615	0,0176	0,067	0,000025	0,00649	1,0443	200,95
07.00-08.00	24,0162	30,0203	0,031	0,0104	0,000236	0,00115	9,8267	35,775
12.00-13.00	23,8374	29,7968	0,0161	0,0348	0,00003151	0,003452	1,3218	108,199
16.00-17.00	27,067	30,0745	0,0176	0,0088	0,0252	0,001	0,9313	31,022
19.00-20.00	24,28	30,3544	0,017	0,0088	0,0000157	0,001	0,6466	30,736

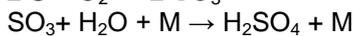
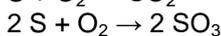
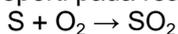


Gambar 1. Konsentrasi SO<sub>2</sub> pada Hari Selasa

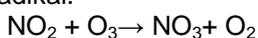


Gambar 2. Konsentrasi NO<sub>2</sub> pada hari Selasa

Pada Gambar 1 dan Gambar 2 tampak bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> pada waktu *sampling* yang dilakukan pada hari kerja (hari Selasa) bersifat fluktuatif. Kondisi saat *sampling* pukul 03.00-04.00 yaitu suhu (T) rata-rata 296°K, tekanan (Pa) rata-rata 759 mmHg, kelembaban 81%, kecepatan angin 2,2 m/s dengan cuaca berawan. Konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi terjadi pada waktu *sampling* pukul 03.00-04.00 yang mencapai 200,95 µg/Nm<sup>3</sup>. Pada jam ini belum ada cahaya matahari sehingga SO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari asap kendaraan bermotor belum mengalami reaksi fotokimia untuk berubah menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> seperti pada reaksi berikut:

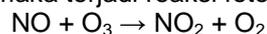


Didukung pada saat *sampling* cuaca berawan, maka menyebabkan polutan SO<sub>2</sub> tidak dapat berpindah ke altitud yang lebih tinggi karena tertahan oleh awan sehingga konsentrasinya menjadi tinggi. Sedangkan konsentrasi NO<sub>2</sub> pada jam ini cenderung rendah. Hal ini disebabkan karena pada dini hari belum ada cahaya matahari yang dapat mengoksidasi NO yang menjadi NO<sub>2</sub>. Selain itu, NO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari transportasi hari sebelumnya kemungkinan sudah diubah menjadi HNO<sub>3</sub> pada malam hari oleh ozon (O<sub>3</sub>) yang menghasilkan NO<sub>3</sub> yang bersifat radikal.



Pada pukul 07.00-08.00 WIB kondisi saat *sampling* yaitu suhu (T) rata-rata

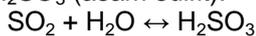
297°K, tekanan (Pa) rata-rata 758 mmHg, kelembaban 50%, kecepatan angin 2,5 m/s dengan cuaca berawan. Dibandingkan dengan dini hari, pada pagi hari (pukul 07.00-08.00), konsentrasi SO<sub>2</sub> menurun. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang meningkat dibanding waktu *sampling* pada dini hari sehingga SO<sub>2</sub> dapat bertransportasi ke tempat lain. Munculnya cahaya matahari walaupun dengan intensitas yang minim juga membantu proses reaksi fotokimia sehingga SO<sub>2</sub> dapat beroksidasi menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Sedangkan konsentrasi NO<sub>2</sub> cenderung naik. Hal ini terjadi karena mulai munculnya cahaya matahari walaupun dengan intensitas yang minim menyebabkan NO beroksidasi dengan ozon dan menghasilkan NO<sub>2</sub>. Konsentrasi NO<sub>2</sub> tertinggi juga terjadi pada jam ini, yaitu mencapai 9,8267 µg/Nm<sup>3</sup>. Karena cahaya mulai muncul (walaupun dengan intensitas minim) maka terjadi reaksi fotokimia:



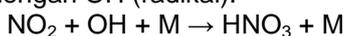
Pada pukul 12.00-13.00 kondisi saat *sampling* yaitu suhu (T) rata-rata 302°K, tekanan (Pa) rata-rata 765 mmHg, kelembaban 55%, kecepatan angin 2,5 m/s dengan cuaca berawan. Dengan kecepatan angin yang sama dengan pagi hari, namun konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara pada jam ini meningkat dibanding pagi hari namun tetap lebih rendah dibanding saat dini hari. Hal ini disebabkan karena pergerakan gas SO<sub>2</sub> yang relatif terbatas karena tekanan yang lebih besar. Sedangkan konsentrasi NO<sub>2</sub> menurun dibanding pagi hari namun sedikit lebih

tinggi dibandingkan saat dini hari. Hal ini terjadi karena cahaya matahari lebih redup dibandingkan pagi hari. Hal ini menyebabkan ozon hanya dapat beroksidasi dengan NO untuk menghasilkan NO<sub>2</sub> dalam jumlah kecil.

Pada pengambilan sampel sore hari (16.00-17.00) dengan suhu (T) rata-rata 300°K, tekanan (Pa) rata-rata 767 mmHg, kelembaban 60%, kecepatan angin 1,95 m/s dan pada malam hari (19.00-20.00) dengan suhu rata-rata 298°K, tekanan rata-rata 769 mmHg, kelembaban 71%, dan kecepatan angin 1,95 m/s terjadi hujan ringan. Polutan SO<sub>2</sub> juga menurun dibanding dengan konsentrasi pada dini hari hingga siang hari. Hal ini disebabkan karena sifat SO<sub>2</sub> yang mudah larut dalam air sehingga SO<sub>2</sub> bereaksi dengan H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (asam sulfat).



Begitupun dengan konsentrasi NO<sub>2</sub> yang menurun dibanding dengan dini hari hingga siang hari karena tidak adanya cahaya matahari maka NO tidak beroksidasi dengan ozon. Selain itu karena sifatnya yang tidak mudah larut, NO<sub>2</sub> mudah berpindah ke bagian atas lapisan troposfer, yang selanjutnya menghasilkan HNO<sub>3</sub> pada reaksinya dengan OH (radikal).



## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada rentang volume kendaraan 121,9 smp/jam sampai 2128,9 smp/jam tidak terjadi korelasi antara aktivitas kendaraan bermotor (volume kendaraan) terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien yang terdapat di lokasi penelitian.
2. Faktor meteorologis seperti cuaca kecepatan angin, suhu, dan kelembaban udara merupakan faktor yang lebih mempengaruhi konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien.
3. Turunnya hujan dapat mempengaruhi konsentrasi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> di udara ambien karena konsentrasinya akan cenderung menurun.
4. Konsentrasi polutan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> tidak terpengaruh oleh hari kerja

(Selasa-Rabu) maupun hari libur (Sabtu-Minggu) karena lokasi *sampling* yang berada di dekat obyek-obyek wisata sehingga aktivitas kendaraannya selalu ramai.

5. Konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi mencapai 232,05 µg/Nm<sup>3</sup> sedangkan konsentrasi NO<sub>2</sub> tertinggi mencapai 17,9522 µg/Nm<sup>3</sup> dan keduanya tidak melebihi baku mutu udara yang berlaku baik di DIY maupun baku mutu udara ambien nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bennett, D., 2017, *How Do Temperature Inversions Influence Air Pollution?*, (<https://sciencing.com/temperature-inversions-influence-air-pollution-10038430.html>), (diakses pada 30 Oktober 2017).
- Edy, B. M. S., 2005, *Pencemaran Udara, Respon Tanaman dan Pengaruhnya pada Manusia*, *Skripsi*, Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Fardiaz, S., 1992, *Polusi Air & Udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Godish, T., 2004, *Air Quality, 4<sup>th</sup> Edition*, Lewis Publisher, USA.
- Gunardo, R. B., 2014, *Geografi Transportasi*, Ombak, Yogyakarta.
- Hadi, A., 2015, *Pengambilan Sampel Lingkungan*, Erlangga, Jakarta.
- Istirokhatun, T., 2016, *Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar SO<sub>2</sub> di Kota Semarang*, *Skripsi*, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Manahan, S. E., 2010, *Environmental Chemistry Ninth Edition*, CRC Press, USA.
- Soedomo, M., 2001, *Pencemaran Udara*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wardani, T. K., 2012, *Perbedaan Tingkat Risiko Kesehatan oleh Paparan PM10, SO2 dan NO2 pada Hari Kerja, Hari Libur, dan Hari Bebas Kendaraan Bermotor di Bundaran HI Jakarta*, *Skripsi*, Jurusan Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Wiyandari, M., 2010, *Hubungan Volume Kendaraan Terhadap Konsentrasi*

Polutan NO<sub>x</sub> di Udara (Studi Kasus:  
Jalan Margonda Raya Depok),  
*Skripsi*, Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas  
Indonesia.

#### **BIODATA PENULIS**

**Sri Hastutiningrum, S.T., M.Si.**, lahir pada tanggal 24 Mei 1958 di Yogyakarta, menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dari Universitas Pembangunan Nasioanal "Veteran" Yogyakarta tahun 1993 dan S2 pada Jurusan Kimia MIPA dari Universitas Gadjah Mada tahun 2006. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor pada bidang minat mekanika fluida, teknologi penyediaan air, sistem jaringan dan distribusi.

**Dra. Sri Sunarsih, M.Si.**, lahir pada tanggal 10 April 1962 di Gunungkidul menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kimia dari Universitas Gadjah Mada tahun 1991 dan S2 pada Jurusan Kimia dari Universitas Gadjah Mada tahun 2005. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Lingkungan di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Asisten Ahli pada bidang minat kimia lingkungan, analisis kualitas lingkungan dan pengendalian pencemaran industri.

**Imelda**, lahir pada tanggal 29 Maret 1995 di Tegal, menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Lingkungan dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai karyawan bagian Management Trainee department Environment, Health and Safety (EHS) di PT. Industri Gula Nusantara Kendal.

## SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN SELEKSI KELAYAKAN PROPOSAL PENELITIAN DOSEN MENGGUNAKAN METODE TOPSIS DAN SAW

Renna Yanwsatika Ariyana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, IST AKPRIND Yogyakarta

Email: <sup>1</sup>renna@akprind.ac.id

Masuk: 13 Juli 2018, Revisi masuk: 25 Juli 2018, Diterima: 31 Juli 2018

### ABSTRACT

*Research proposal selection process involving lecturers at the Institute for Research and Community Service (LPPM) must be carried out proportionally and professionally in accordance with established criteria and standards for management, assessment and funding. However, there are problems faced by LPPM, namely the lack of reviewers, differences in assessment styles, the number of diverse scientific studies, and the element of subjectivity are some of the challenge factors when selecting research proposals. There needs to be a decision support system that can be used as an alternative decision making in conducting research proposal selection.*

*In this study we used a combination of Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and Simple Additive Weighting (SAW) methods using five assessment criteria, namely: the ability of presentation and mastery of the material, the problem under study, research method, research output, and feasibility resource. Based on the results of the study, the results of the same calculation obtained by combining the TOPSIS method and SAW using 20 data samples with the value of accuracy between manual calculation and the system reaching 100%.*

**Keywords:** SAW, TOPSIS, Decision Support System, Research Proposal.

### INTISARI

Proses seleksi proposal penelitian yang melibatkan dosen pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) harus dilakukan secara proporsional dan profesional sesuai dengan kriteria dan standar baku pengelolaan, penilaian dan pendanaan yang telah ditetapkan. Namun terdapat permasalahan yang dihadapi oleh LPPM yaitu kurangnya jumlah reviewer, perbedaan gaya penilaian, jumlah kajian ilmu yang beragam, serta unsur subjektifitas merupakan beberapa faktor tantangan ketika melakukan seleksi proposal penelitian. Karena itu perlu adanya sistem pendukung keputusan yang dapat dijadikan sebagai alternatif pengambilan keputusan dalam melakukan seleksi proposal penelitian.

Dalam penelitian ini digunakan kombinasi metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) dan *Simple Additive Weighting* (SAW) dengan menggunakan lima kriteria penilaian yaitu: kemampuan persentasi dan penguasaan materi, masalah yang diteliti, metode penelitian, luaran penelitian, dan kelayakan sumber daya. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil perhitungan yang sama dengan mengkombinasikan metode TOPSIS dan SAW menggunakan 20 sampel data dengan nilai akurasi antara perhitungan manual dan sistem mencapai 100%.

**Kata-kata kunci:** SAW, TOPSIS, Sistem Pendukung Keputusan, Proposal penelitian.

### PENDAHULUAN

Salah satu aktivitas yang dilakukan oleh dosen yaitu melakukan penelitian, dimana penelitian merupakan salah satu kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi selain pengajaran dan pengabdian pada

masyarakat. Pengembangan keilmuan dosen tidak hanya dilakukan melalui pengajaran, namun perlu adanya pengembangan inovasi keilmuan yang dilakukan melalui sebuah kegiatan penelitian (Saleh, 2014). Menurut data

yang dipublikasikan melalui halaman laman RISTEK DIKTI, Indonesia sebagai negara yang berpenduduk 250 juta orang masih kekurangan peneliti berkualitas, terutama peneliti muda. Seperti yang dikemukakan oleh Menteri Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi, tingkat publikasi Internasional Indonesia masih rendah dan berada di peringkat nomor 4 se-ASEAN setelah Singapura, Malaysia, Thailand (Ard, 2016).

Secara teori penelitian adalah pengamatan atau inkuiri yang mempunyai tujuan untuk mencari jawaban atas permasalahan, baik permasalahan yang bersifat *discovery* (penemuan yang sudah ada) maupun penemuan yang bersifat *invention* (penemuan penelitian yang baru dengan dukungan fakta) (Sukardi, 2015). Sebuah penelitian yang dilakukan memerlukan proposal penelitian yang harus diajukan, dimana proposal penelitian merupakan cikal bakal sebuah penelitian yang dilakukan oleh para peneliti terutama penelitian yang melibatkan Perguruan Tinggi. Proposal disusun oleh peneliti sebelum melaksanakan penelitian, baik penelitian yang dilakukan di lapangan ataupun penelitian yang dilakukan di perpustakaan. Tujuan dari proposal sendiri adalah untuk meyakinkan pihak yang dituju agar memberikan dana, dukungan, persetujuan atau izin terhadap rencana usaha atau kegiatan yang akan dilakukan (Susanto, 2010). Pada prosesnya proposal penelitian yang diajukan harus melalui tahapan seleksi, baik seleksi administrasi maupun seleksi substansi. Tujuan dari penyeleksian ini adalah memberikan pertimbangan keputusan kepada LPPM pada masing-masing Perguruan Tinggi untuk meloloskan proposal yang telah memenuhi standar baku penelitian agar layak mendapatkan dana.

Pada proses *review* proposal, *reviewer* tidak hanya melakukan penilaian terhadap satu kriteria saja, namun ada beberapa kriteria penilaian tertentu yang harus dinilai. Dalam sistem pendukung keputusan yang bersifat konvensional, penilaian masih hanya melakukan penilaian administrasi dengan melihat kelengkapan berkas penelitian

dan pada tahap *review* proposal penilaian dilakukan hanya dengan menjumlahkan nilai yang didapatkan dari masing-masing proposal yang direview tanpa melakukan normalisasi terhadap penjumlahan nilai tersebut, sehingga memungkinkan kesalahan penentuan keputusan itu cukup tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Khasanah, dkk. (2015) menyatakan bahwa penentuan jurusan dapat dilakukan dengan menggunakan 5 kriteria penilaian yaitu: nilai UN, nilai US, nilai raport, minat siswa, serta test tertulis. Kesimpulan dalam penelitian ini adalah bahwa sistem pendukung keputusan dengan metode SAW memiliki tingkat akurasi yang baik dalam menentukan minat siswa yang akan masuk pada jurusan yang sesuai (Khasanah, dkk. 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni dan Anggoro (2017) menggunakan metode TOPSIS untuk melakukan seleksi penerimaan calon karyawan, dimana dalam proses seleksinya digunakan 5 kriteria yaitu, nilai IPK, nilai TOEFL, pengalaman kerja, usia, dan Tes Potensi Akademik (TPA). Dari hasil pengujian yang didapat disimpulkan bahwa sistem pendukung keputusan penerimaan pegawai menggunakan metode TOPSIS menghasilkan sistem yang dapat memberikan rekomendasi pelamar terbaik sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Yanwastika, dkk. (2016) dilakukan pembobotan kriteria penilaian untuk menentukan *rating* kecocokan menggunakan metode SAW dari setiap alternatif dalam melakukan seleksi kelayakan proposal penelitian yang diajukan oleh dosen. Dalam melakukan proses seleksi digunakan 5 kriteria yang telah ditentukan oleh pihak LPPM. Dalam penelitian ini juga dilakukan 4 skenario uji, dimana masing-masing skenario yang diuji dibandingkan dengan pengujian manual menggunakan 40 data uji dari total data sebanyak 50 dengan hasil nilai akurasi mencapai 99%. Hasil akhir dari penelitian ini berupa prototipe sistem yang dapat membantu para *reviewer* melakukan perangkan terhadap proposal penelitian yang diajukan

(Ariyana, dkk. 2016). Penelitian yang hampir sama juga dilakukan oleh Yusya, dkk. (2018) dimana dalam penelitian ini memanfaatkan metode SAW dan WP dalam menyeleksi kelayakan proposal penelitian dosen. Dalam penelitian ini dilakukan 6 kali uji menggunakan 24 data uji. Keenam pengujian membandingkan perhitungan manual dengan metode yang digunakan, dimana pada uji 1 dengan pertimbangan terhadap kriteria dan bobot didapat nilai akurasi sebesar 8,3%. Pada uji 2 dengan pertimbangan terhadap metode penelitian menjadi 25% dan kelayakan penelitian 15% dengan tingkat akurasi sebesar 8,3%. Pada uji 3 dengan melakukan pertimbangan terhadap semua komponen kriteria dan pembobotan dengan tingkat akurasi sebesar 20,8%. Pada uji 4 dengan metode SAW dengan kriteria dan bobot dihasilkan nilai akurasi 8,3%. Pada uji 5 dengan metode WP melakukan pertimbangan terhadap metode penelitian menjadi 25% dan kelayakan penelitian 15% didapat nilai akurasi sebesar 8,3%. Pada uji 6 dengan melakukan pertimbangan terhadap semua komponen kriteria dan pembobotan didapat nilai akurasi sebesar 29,2%. Dari penelitian ini dihasilkan sebuah prototipe sistem yang dapat mempermudah *reviewer* dalam melakukan *review* terhadap proposal yang diajukan dengan nilai akurasi terbaik sebesar 29,2% (Mubarak, dkk., 2018).

Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya dan latar belakang masalah di atas, maka penelitian ini membangun model sistem pendukung keputusan seleksi kelayakan proposal penelitian dosen menggunakan metode TOPSIS dan SAW sehingga nantinya metode yang digunakan dapat diterapkan sebagai alternatif pendukung keputusan dalam menyeleksi proposal penelitian dosen.

#### **Sistem Pendukung Keputusan (SPK)**

Menurut Alter (2002) dalam buku Kusrini (2007) sistem pendukung keputusan merupakan sistem informasi interaktif yang menyediakan informasi, pemodelan, dan pemanipulasian data,

dimana sistem ini nantinya dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengambil keputusan dalam situasi yang semi terstruktur dan situasi yang tidak terstruktur. Dalam sistem ini tidak seorangpun tahu secara pasti bagaimana keputusan seharusnya dibuat (Kusrini, 2007).

*Decision Support and Intelegen System* (Turban, 2015) mendefinisikan sistem pendukung keputusan sebagai sistem berbasis komputer yang terdiri dari tiga komponen yang saling berinteraksi yaitu (Nofriansyah, 2014):

- 1) Sistem bahasa: mekanisme untuk memberikan komunikasi antara pengguna dan komponen sistem pendukung keputusan yang lain.
- 2) Sistem pengetahuan: *repository* pengetahuan domain masalah yang ada pada sistem pendukung keputusan atau sebagai data prosedur.
- 3) Sistem pemrosesan masalah: hubungan antara komponen lainnya, terdiri dari satu atau lebih kapabilitas manipulasi masalah umum yang diperlukan untuk mengambil keputusan.

#### **Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)**

TOPSIS menurut Yoon & Hwang (1981) merupakan metode yang banyak digunakan untuk pengambilan keputusan yang mempunyai multikriteria atau kriteria yang banyak. Pengambilan keputusan untuk memilih alternatif terbaik dari sejumlah alternatif berdasarkan beberapa kriteria tertentu disebut dengan *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM).

Menurut Kusumadewi, dkk. (2006) TOPSIS menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terpendek dari solusi ideal positif (A+) dan terjauh dari solusi ideal negatif (A-) dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak *euclidean* untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal. TOPSIS digunakan untuk menyelesaikan masalah MCDM karena TOPSIS menggunakan konsep yang sederhana dan mudah dipahami serta memiliki

sistem komputasi yang efisien dan memiliki kemampuan untuk mengukur kinerja relatif dari alternatif-alternatif keputusan. Tahapan dalam menyelesaikan sebuah permasalahan menggunakan metode TOPSIS yaitu (Kusumadewi, dkk. 2006):

1. Menggambarkan alternatif (m) dan kriteria (n) ke dalam sebuah matrix, dimana  $X_{ij}$  adalah pengukuran pilihan dari alternatif ke-i dan kriteria ke-j. Matrix ini dapat dilihat pada persamaan (1).

$$D = \begin{matrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{matrix} \dots \dots \dots (1)$$

2. Membuat matrix R yaitu matrix keputusan ternormalisasi. Setiap normalisasi dari nilai  $r_{ij}$  dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan (2).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \dots \dots \dots (2)$$

3. Membuat pembobotan pada matrix yang telah dinormalisasi, setiap kolom pada matrix R dikalikan dengan bobot-bobot ( $w_j$ ) untuk menghasilkan matrix pada persamaan (3).

$$D = \begin{matrix} W1_{r11} & W1_{r12} & Wn_{r1n} \\ W2_{r21} & W_{r2n} & \dots \dots \dots \\ Wj_{rm1} & Wj_{rm2} & Wj_{rmm} \end{matrix} \dots \dots \dots (3)$$

4. Menentukan nilai solusi ideal positif dan solusi ideal negatif. Solusi ideal dinotasikan A+ pada persamaan (4), sedangkan solusi ideal negatif dinotasikan A- pada persamaan (4).

$$\begin{aligned} A+ &= \{(Max V_{ij} | j \in J), (Min V_{ij} | j \in J'), (i = 1, 2, 3, \dots, m)\} \\ &= V1 + V2 + \dots + Vn+ \\ A- &= \{(Max V_{ij} | j \in J'), (Min V_{ij} | j \in J), (i = 1, 2, 3, \dots, m)\} \\ &= V1 - V2 - \dots - Vn- \end{aligned} \dots \dots (4)$$

$J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ dan } j \text{ merupakan benefit criteria}\}$   
 $J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ dan } j \text{ merupakan cost criteria}\}$

5. Menghitung separation measure. Separation measure merupakan

pengukuran jarak dari suatu alternatif ke solusi ideal positif dan solusi ideal negatif.

- a. Perhitungan solusi ideal positif dapat dilihat pada persamaan (5).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \dots \dots \dots (5)$$

dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, m$

- b. Perhitungan solusi ideal negatif dapat dilihat pada persamaan (6).

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \dots \dots (6)$$

dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, m$

6. Menghitung nilai preferensi untuk setiap alternatif. Untuk menentukan peringkat tiap-tiap alternatif yang ada maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai preferensi dari tiap alternatif dengan perhitungan menggunakan persamaan (7).

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \dots \dots (7)$$

Dimana  $0 < C_i < 1$  dan  $i = 1, 2, 3, \dots, m$

7. Setelah didapat nilai  $C_i$ , maka alternatif dapat peringkat berdasarkan urutan  $C_i$ . Dari hasil peringkat ini dapat dilihat alternatif terbaik yaitu alternatif yang memiliki jarak terpendek dari solusi ideal dan berjarak terjauh dari solusi ideal negatif.

### Simple Additive Weighting (SAW)

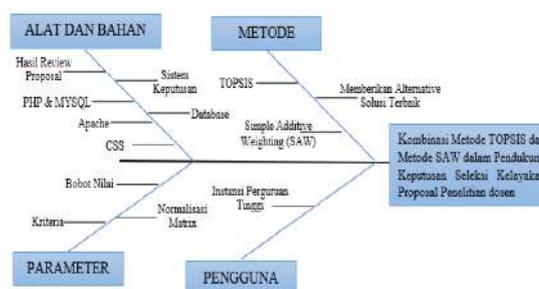
SAW merupakan metode yang memiliki kemampuan dalam melakukan penilaian secara lebih tepat, SAW dapat menyeleksi alternatif terbaik dari sejumlah alternatif yang ada. Hal ini didasarkan pada nilai kriteria dan bobot dengan tingkat kepentingan yang dibutuhkan. Metode SAW disarankan untuk menyelesaikan masalah sistem pengambilan keputusan multi proses. Metode SAW membutuhkan proses normalisasi matrix keputusan (X) ke suatu skala yang dapat diperbandingkan dengan semua peringkat alternatif yang ada (Novriansyah, 2014).

Tahapan dalam menyelesaikan sebuah permasalahan menggunakan metode SAW yaitu:

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi.
2. Menentukan kriteria yang akan digunakan untuk melakukan penilaian.
3. Memberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingan masing-masing kriteria yang dibutuhkan, sehingga akan menghasilkan vektor bobot yaitu:  $W = [\text{bobot kriteria 1, bobot kriteria 2, ...}]$ .
4. Membangun matrixs keputusan antara kriteria dan alternatif.
5. Membuat normalisasi matrixs keputusan (X) ke dalam suatu skala yang dapat dibandingkan dengan alternatif yang ada.
6. Melakukan perangkingan terhadap semua alternatif yang ada, dengan cara mencari nilai preferensi untuk setiap alternatif ( $V_i$ ).

### Fishbone Diagram

Manfaat *fishbone diagram* yaitu untuk menemukan akar penyebab masalah secara *user friendly*. Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang perlu diuraikan melalui sesi *brainstorming* (Purba, 2008). Gambaran *fishbone diagram* SPK seleksi kelayakan proposal penelitian dosen seperti terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. *Fishbone Diagram* SPK Seleksi Kelayakan Proposal Penelitian

### PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam perhitungan kombinasi metode TOPSIS dan metode SAW ini berjumlah 20 *sample* yang diperoleh dari hasil *review* proposal penelitian di tahun sebelumnya pada salah satu Perguruan Tinggi di Yogyakarta. Hasil 20 data *sample* yang digunakan akan dimasukkan ke dalam

tabel penilaian berdasarkan kriteria yang digunakan dalam menilai proposal penelitian. Kriteria akan di inialisasi menggunakan C1 sampai C5 sesuai dengan kriteria yang digunakan. Adapun kriteria yang digunakan yaitu:

1. (C1): Kemampuan Presentasi dan Penguasaan Materi
2. (C2): Masalah yang diteliti (Kontribusi IPTEK, Tinjauan Pustaka, Ketajaman Rumusan Masalah)
3. (C3): Metode Penelitian (Makna Ilmiah, Originalitas, Kemutakhiran, Pola Pendekatan Metode)
4. (C4): Luaran Penelitian (Publikasi Ilmiah, Teori/Hipotesis/Produk/ Model/ TTG Baru, Informasi/Desain Baru)
5. (C5): Kelayakan Sumberdaya (Rekam Jejak Tim Peneliti, Sarana dan Prasarana, Jadwal Penelitian, Biaya).

Penelitian ini menggunakan 5 *sample* data yang diimplementasikan ke dalam perhitungan menggunakan metode TOPSIS dan SAW. Tabel 1 menampilkan kriteria dan nilai bobot yang digunakan dalam analisis dengan metode TOPSIS dan Metode SAW.

Tabel 1. Nilai Bobot Kriteria Metode TOPSIS dan Metode SAW

Kriteria	Bobot
(C1)	20
(C2)	25
(C3)	15
(C4)	30
(C5)	10

Nilai alternatif digunakan untuk memberikan penilaian terhadap masing-masing kriteria penilaian proposal penelitian dosen. Tabel 2 menampilkan hasil penilaian kriteria untuk setiap alternatif dimana nilai-nilai yang digunakan berasal dari hasil penilaian *review* proposal yang dilakukan oleh *reviewer*.

Tabel 2. *Rating* Kecocokan dari Setiap Alternatif pada Setiap Kriteria

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	5	5	5	5	5
A2	5	5	5	5	6
A3	5	5	5	5	5
A4	5	5	5	5	6
A5	5	3	5	3	5

**Penyelesaian Metode TOPSIS**

Pada Tabel 2 di atas merupakan matrix keputusan yang nantinya akan dihitung melalui rumus normalisasi. Untuk melakukan normalisasi, nilai-nilai pada Tabel 2 yang didapatkan dikuadratkan terlebih dahulu. Adapun cara untuk melakukan normalisasi nilai adalah sebagai berikut:

$$|x^1| = \sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2}$$

$$= \sqrt{25 + 25 + 25 + 25 + 25}$$

$$= \sqrt{125}$$

$$= 11,180$$

$$r 1.1 = \frac{x_{11}}{|x^1|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 1.2 = \frac{x_{12}}{|x^1|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 1.3 = \frac{x_{13}}{|x^1|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 1.4 = \frac{x_{14}}{|x^1|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 1.5 = \frac{x_{15}}{|x^1|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$|x^2| = \sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2}$$

$$= \sqrt{25 + 25 + 25 + 25 + 9}$$

$$= \sqrt{109}$$

$$= 10,440$$

$$r 2.1 = \frac{x_{21}}{|x^2|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 2.2 = \frac{x_{22}}{|x^2|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 2.3 = \frac{x_{23}}{|x^2|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 2.4 = \frac{x_{24}}{|x^2|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 2.5 = \frac{x_{25}}{|x^2|} = \frac{3}{10,440} = 0,2873$$

$$|x^3| = \sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2}$$

$$= \sqrt{25 + 25 + 25 + 25 + 25}$$

$$= \sqrt{125} = 11,180$$

$$r 3.1 = \frac{x_{31}}{|x^3|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 3.2 = \frac{x_{32}}{|x^3|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 3.3 = \frac{x_{33}}{|x^3|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 3.4 = \frac{x_{34}}{|x^3|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$r 3.5 = \frac{x_{35}}{|x^3|} = \frac{5}{11,180} = 0,4472$$

$$|x^4| = \sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2}$$

$$= \sqrt{25 + 25 + 25 + 25 + 9}$$

$$= \sqrt{109} = 10,440$$

$$r 4.1 = \frac{x_{4.1}}{|x^4|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 4.2 = \frac{x_{42}}{|x^4|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 4.3 = \frac{x_{43}}{|x^4|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 4.4 = \frac{x_{44}}{|x^4|} = \frac{5}{10,440} = 0,4789$$

$$r 4.5 = \frac{x_{45}}{|x^4|} = \frac{3}{10,440} = 0,2873$$

$$|x^5| = \sqrt{5^2 + 6^2 + 5^2 + 6^2 + 5^2}$$

$$= \sqrt{25 + 36 + 25 + 36 + 25}$$

$$= \sqrt{149} = 12,124$$

$$r 5.1 = \frac{x_{41}}{|x^3|} = \frac{5}{12,124} = 0,4123$$

$$r 5.2 = \frac{x_{42}}{|x^3|} = \frac{6}{12,124} = 0,4948$$

$$r 5.3 = \frac{x_{43}}{|x^3|} = \frac{5}{12,124} = 0,4123$$

$$r 5.4 = \frac{x_{44}}{|x^3|} = \frac{6}{12,124} = 0,4948$$

$$r 5.5 = \frac{x_{45}}{|x^3|} = \frac{5}{12,124} = 0,4123$$

Hasil matrix ternormalisasi R didapat dengan menjumlahkan setiap baris pada setiap kriteria. Misal total kolom X<sub>1</sub> didapat dari penjumlahan seluruh angka pada kolom X<sub>1</sub>. Setelah mendapat total, kemudian menormalisasikan dengan cara membagi setiap elemen pada Tabel 2 dengan akar (sqrt) dari total baris yang bersesuaian.

$$R = \begin{matrix} & 0,447 & 0,479 & 0,447 & 0,479 & 0,412 \\ & 0,447 & 0,479 & 0,447 & 0,479 & 0,495 \\ & 0,447 & 0,479 & 0,447 & 0,479 & 0,412 \\ & 0,447 & 0,479 & 0,447 & 0,479 & 0,495 \\ & 0,447 & 0,287 & 0,447 & 0,287 & 0,412 \end{matrix}$$

Matrix R diatas merupakan hasil normalisasi terbobot yang didapat dari perkalian matrix pada Tabel 3 dengan bobot kriteria yaitu (C1= 25, C2 = 20, C3 = 15, C4 = 30, C5 = 10).

Tabel 3. Hasil Perkalian antara bobot dengan nilai setiap atribut

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	11,1803	9,57826	6,7082	14,3674	4,12393
A2	11,1803	9,57826	6,7082	14,3674	4,94872
A3	11,1803	9,57826	6,7082	14,3674	4,12393
A4	11,1803	9,57826	6,7082	14,3674	4,94872
A5	11,1803	5,74696	6,7082	8,62044	4,12393

Matrix solusi ideal didapat berdasarkan normalisasi terbobot dan atribut kriteria (*cost* atau *benefit*). Solusi ideal positif diambil nilai maksimal dari normalisasi terbobot jika atribut kriteria *benefit*, jika *cost* diambil nilai minimalnya. Sebaliknya

solusi ideal positif diambil nilai minimal dari normalisasi terbobot jika atribut kriteria *benefit*, jika *cost* diambil maksimalnya. Adapun hasil dari perhitungan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif

	Solusi Ideal Positif	Solusi Ideal Negatif
Y1	11,1803	11,1803
Y2	9,57826	5,74696
Y3	6,7082	6,7082
Y4	14,3674	8,62044
Y5	4,94872	4,12393

Untuk mencari total dan perangkungan, terlebih dahulu harus mencari jarak solusi ideal positif dan negative yang didapat dari pengolahan normalisasi terbobot dan matrixs solusi ideal. Caranya adalah mengkuadratkan selisih setiap elemen matrixs normalisasi terbobot dengan matrixs solusi ideal, kemudian menjumlahkan setiap alternatif, setelah itu diakarkan. Adapun hasil solusi ideal positif yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 D1+ &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 9,57826)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (4,94872 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,68027^2} = 0,68027 \\
 D2+ &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 9,57826)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (4,94872 - 4,94872)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0 + 0 + 0} = 0 \\
 D3+ &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 9,57826)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (4,94872 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,68027^2} = 0,68027 \\
 D4+ &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 9,57826)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (4,94872 - 4,94872)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0 + 0 + 0} = 0 \\
 D5+ &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (5,74696 - 9,57826)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (4,12393 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 48,3867 + 0 + 0} = 48,3867
 \end{aligned}$$

Hasil jarak solusi ideal negatif didapatkan dengan menggunakan penyelesaian persamaan (6).

$$\begin{aligned}
 D1- &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 5,74696)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (14,3674 - 8,62044)^2 + (4,12393 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0,893 + 0 + 0,893 + 0} = 0,893 \\
 D2- &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 5,74696)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (14,3674 - 8,62044)^2 + (4,94872 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0,893 + 0 + 0,893 + 0,893} = 1,000 \\
 D3- &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 5,74696)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (14,3674 - 8,62044)^2 + (4,12393 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0,893 + 0 + 0,893 + 0} = 0,893 \\
 D4- &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (9,57826 - 5,74696)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (14,3674 - 8,62044)^2 + (4,94872 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0,893 + 0 + 0,893 + 0,893} = 1,000 \\
 D5- &= \sqrt{(11,1803 - 11,1803)^2 + (5,74696 - 5,74696)^2 + (6,7082 - 6,7082)^2 + (8,62044 - 8,62044)^2 + (4,12393 - 4,12393)^2} \\
 &= \sqrt{0 + 0 + 0 + 0 + 0} = 0
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan persamaan (5) untuk mencari jarak alternatif solusi ideal positif dan persamaan (6) untuk mencari jarak solusi ideal negatif didapatkan hasil seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif

Jarak Alternatif Solusi +	Jarak Alternatif Solusi -
0,82479	6,90698
0	6,95605
0,82479	6,90698
0	6,95605
6,95605	0

Preferensi didapat dari pembagian ideal negatif dibagi dengan penjumlahan ideal positif dan negatif. Hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V1 &= \frac{D1-}{D1- + D1+} = \frac{6,90698}{6,90698 + 0,82479} = 0,893 \\
 V2 &= \frac{D2-}{D2- + D2+} = \frac{6,95605}{6,95605 + 0} = 1 \\
 V3 &= \frac{D3-}{D3- + D3+} = \frac{6,90698}{6,90698 + 0,82479} = 0,893 \\
 V4 &= \frac{D4-}{D4- + D4+} = \frac{6,95605}{6,95605 + 0} = 1 \\
 V5 &= \frac{D5-}{D5- + D5+} = \frac{0}{0 + 6,95605} = 0
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai preferensi digunakan sebagai alternatif untuk memberikan nilai peringkat seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Preferensi dan Nilai Peringkat TOPSIS

Alternatif	Nilai Peringkat
0,893	3
1,000	1
0,893	4
1,000	2
0,000	5

### Penyelesaian Metode SAW

Nilai alternatif masing-masing kriteria telah dijabarkan pada Tabel 1, sedangkan *rating* kecocokan dari masing-masing alternatif pada setiap kriteria di tunjukkan pada Tabel 2. Selanjutnya Normalisasi matrix keputusan dibangun menggunakan matrixs (m x n) yang berisi m alternatif dan n kriteria sehingga diperoleh matrix ternormalisasi R berikut :

$$R = \begin{matrix} & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 \\ & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 1,00 \\ 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 & \\ & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 0,83 & 1,00 \\ & 0,83 & 0,50 & 0,83 & 0,50 & 0,83 \end{matrix}$$

Hasil matrix ternormalisasi R akan dikalikan dengan bobot preferensi (C1 = 25, C2 = 20, C3 =15, C4 = 30, C5 = 10) yang disesuaikan dengan standar bobot penelitian yang dilakukan. Hasil perkalian matrik ternormalisasi R ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Matrix Ternormalisasi Dikali Bobot Preferensi

	C1	C2	C3	C4	C5
V <sub>1</sub>	0,21	0,17	0,13	0,25	0,08
V <sub>2</sub>	0,21	0,17	0,13	0,25	0,10
V <sub>3</sub>	0,21	0,17	0,13	0,25	0,08
V <sub>4</sub>	0,21	0,17	0,13	0,25	0,10
V <sub>5</sub>	0,21	0,10	0,13	0,15	0,08

Untuk mencari nilai dari masing-masing Dosen yang mengajukan proposal penelitian maka hasil perkalian bobot

akan dijumlahkan, sehingga menghasilkan Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Penjumlahan Nilai

Alternatif	Nilai
V <sub>1</sub>	0,83
V <sub>2</sub>	0,85
V <sub>3</sub>	0,83
V <sub>4</sub>	0,85
V <sub>5</sub>	0,67

Berdasarkan hasil perhitungan nilai V<sub>i</sub> dari setiap Dosen yang mengajukan proposal penelitian, dapat dibuatkan tabel penentuan ranking seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Peringkat SAW

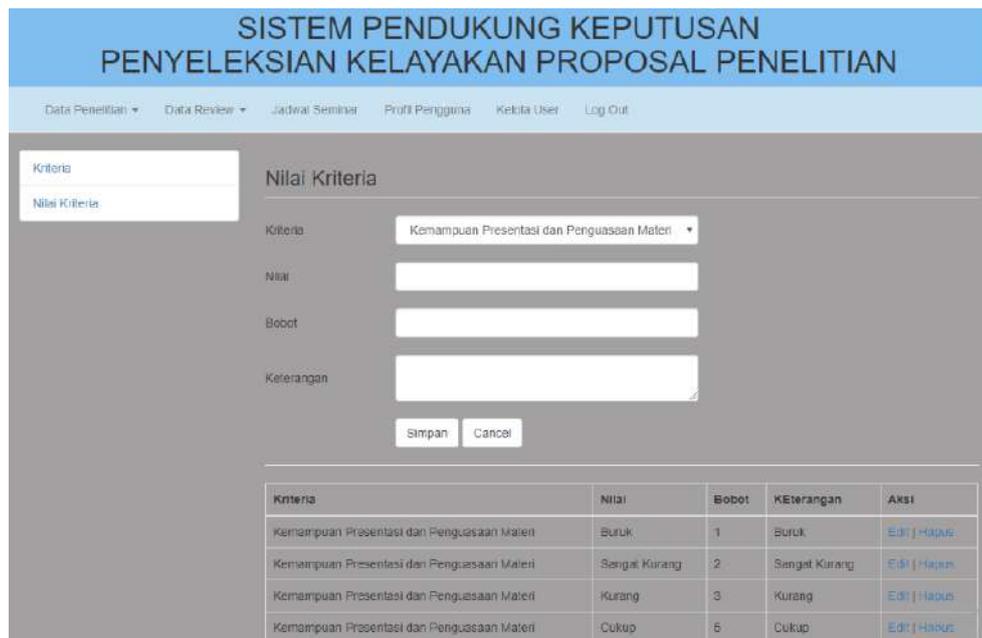
V <sub>1</sub>	3
V <sub>2</sub>	1
V <sub>3</sub>	4
V <sub>4</sub>	2
V <sub>5</sub>	5

### Implementasi Metode ke Dalam Sistem

Hasil analisis data sampai dengan perancangan antar muka maka prototipe perancangan yang telah dibuat akan diimplementasikan dalam bentuk program. Berikut adalah hasil implementasi dari prototipe sistem yang telah diimplementasikan ke dalam program.

### Halaman Nilai Kriteria

Halaman nilai kriteria digunakan untuk menambahkan nilai dari perkalian bobot yang akan dilakukan, nilai-nilai ini merupakan standar penilaian proposal yang diacu pada pedoman penilaian (1 = Buruk, 2 = Sangat Kurang, 3 = Kurang, 5 = Cukup, 6 = Baik, 7 = Sangat Baik). Jumlah nilai yang diinputkan sesuai dengan jumlah kriteria yang dimasukkan pada menu "Kriteria". Tampilan halaman nilai kriteria ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Halaman Nilai Kriteria

#### Halaman Kelola *Review*

Sub Menu kelola *review* digunakan oleh pengelola untuk mengelola kriteria penilaian. Pengelola dalam sistem merupakan petugas yang dapat melakukan entri data administrasi, melakukan update, delete, melihat hasil seleksi, dan mencetak laporan. Pada

halaman kelola *review* terdapat dua menu yaitu "Kriteria" yang digunakan untuk menentukan kriteria dari penilaian apakah penilaian yang dilakukan termasuk *cost* atau *benefit*, serta isian bobot dari kriteria yang akan dinilai. Tampilan halaman kriteria penilaian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan halaman kriteria penilaian

### Halaman Data Review

Pada menu Data review terdapat dua sub menu yaitu, penilaian review dan kelola review. Masing-masing sub menu memiliki fungsi yang berbeda. Sub menu penilaian review, digunakan untuk melakukan penilaian terhadap masing-masing proposal penelitian yang

dipersentasikan oleh para dosen. Pada halaman ini hasil dari perhitungan penilaian yang dilakukan akan ditampilkan langsung, kemudian akan dibandingkan menggunakan metode-metode yang digunakan. Tampilan halaman "Data Review" ditunjukkan pada Gambar 4.

The screenshot displays the 'SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENYELEKSIAN KELAYAKAN PROPOSAL PENELITIAN' interface. It features a navigation bar with links like 'Data Penelitian', 'Data Review', 'Jadwal Seminar', 'Profil Pengguna', 'Kelola User', and 'Log Out'. The main content area is titled 'Perhitungan' and includes a 'Pilih Periode' dropdown menu currently set to '2018', and a 'Pilih penelitian' dropdown menu. Below this is the 'Input nilai kriteria penelitian' section, which contains five rows of criteria, each with five radio button options: 'Buruk', 'Sangat Kurang', 'Kurang', 'Cukup', and 'Sangat Baik'. The criteria listed are: 'Kemampuan Presentasi dan Penguasaan Materi', 'Masalah yang Diteliti', 'Metode Penelitian', 'Populasi Tercapainya Luaran Penelitian', and 'Kelayakan Sumber Daya'. At the bottom of the form are three buttons: 'Hitung', 'Cek Data Peneliti', and 'Hitung Ulang'.

Gambar 4. Tampilan Halaman Seleksi Proposal Penelitian

### KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu alternatif pendukung keputusan dalam melakukan seleksi proposal penelitian dosen. Dari uraian pada bahasan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil akhir dari perhitungan menggunakan metode TOPSIS dan SAW yaitu berupa peringkat yang nantinya dapat menjadi rekomendasi penelitian yang layak mendapatkan dana penelitian.
2. Hasil akhir dari penelitian yang dilakukan yaitu berupa prototipe sistem yang dapat menjadi alternatif pengambilan keputusan dalam seleksi proposal penelitian dosen.

### DAFTAR PUSTAKA

Ard, 2016, Ristek Dikti [Online] (<https://ristekdikti.go.id/kabar/peneliti-indonesia-harus-tingkatkan-gairah->

[dalam-hal-ri-set-dan-publikasi/](#), diakses: 2 April 2018).

- Ariyana, R. Y., Utami, E., & Luthfi, E. T., 2016, Sistem Pendukung Keputusan Penyeleksian Kelayakan Proposal Penelitian Dosen Menggunakan Metode SAW, Sensitif, vol. 5, no. 1.
- Khasanah, F. N., Permanasari A. E., & Kusumawardani, S. S., 2015, Fuzzy MADM for Major Selection at Senior High School. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), IEEE Explore.
- Kusrini, 2007, Konsep dan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S., Hartati, S., Harjoko, A., & Wardoyo, R., 2006, Fuzzy MultiAttribute Decision Making (Fuzzy MADM), Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.

- Mubarak, Z. Y., Utami, E., & Luthfi, E. T., 2018, Sistem Pendukung Keputusan Penyeleksian Kelayakan Proposal Penelitian Dosen Menggunakan Metode Simple Additive Weighting & Weight Product, Semnasteknomedia.
- Novriansyah, D., 2014, Konsep Data Mining vs Sistem Pendukung Keputusan, Penerbit Deepublish, Yogyakarta.
- Purba, H. H., 2008, Diagram Fishbone dari Ishikawa Kaoru, Teknik Penuntun Pengendalian Mutu, Penerbit, Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Saleh, M., 2014, Kompasiana, [Online] (<https://www.kompasiana.com/salida92/54f948e7a33311fc078b4af7/pentingnya-penelitian-bagi-dosen>, diakses: 10 April 2018).
- Sukardi, 2015, Metodologi Penelitian Pendidikan, PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Susanto, H., 2010, Panduan Lengkap Menyusun Proposal, Visi Media, Jakarta.
- Turban, E., 2005, *Decision Support System and Intelligent Systems*, Edisi Bahasa Indonesia, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Wahyuni, E. G. & Anggoro, A. T., 2017, Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan pegawai dengan Metode TOPSIS, Jurnal Sains Teknologi dan Industri, vol. 14 no. 2.
- Yoon, K. & Hwang, C. L., 1981, Multiple Attributes Decision Making Methods & Applications, Springer, Berlin Heidelberg.

#### **BIODATA PENULIS**

**Renna Yanwastika Ariyana, S.T., M.Kom**, lahir pada tanggal 30 Januari 1992 di Selong, Nusa Tenggara Barat, menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Informatika dari Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta tahun 2014 dan S2 pada Jurusan Magister Teknik Informatika dari Universitas AMIKOM Yogyakarta tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Informatika di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik tenaga pengajar pada bidang minat multimedia dan sistem informasi.

ISSN 1979-8415



9 771979 841598