

## PERANCANGAN MESIN DIGESTER BUAH KELAPA SAWIT KAPASITAS 5.000 LITER

Adi Purwanto<sup>1</sup>, Afianto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fak. Teknologi Industri – IST.AKPRIND Yogyakarta  
E-mail: [addidaia47@gmail.com](mailto:addidaia47@gmail.com), batumuku16@yahoo.com.

### INTISARI

Salah satu mesin pemroses buah kelapa sawit menjadi CPO adalah digester. Digester berfungsi mencerna buah sawit, pelumatan dan pemisahan perikap dari inti daging buah, hingga serat lepas dari biji, selain itu bertujuan untuk memecah sel minyak pra-ekstraksi. Pelumatan optimum dicapai pada 95 - 100 °C selama 20 menit. Rancangan digester berkapasitas 5.000 liter ini meliputi komponen utama; lengan pengaduk, poros, roda gigi reduksi, kopling, bantalan, liner, outer-plate. Transmisi elektromotor 45 kW ke poros pengaduk menggunakan gear reducer dua tingkat, dengan reduksi dari 1480 rpm menjadi 23 rpm. Poros pengaduk Ø100 x 3.900 mm, dibuat dari baja ASSAB 705M dengan kekuatan tarik 100 kg/mm<sup>2</sup>. Bantalan poros dipilih ball bearing 2222E dan taper roller thrust bearing 29420E. Sebagai mesin pemroses bahan makanan, liner bagian dalam tabung digester berukuran Ø1.500mm x 3206mm, digunakan material food grade SS 304 agar tidak terjadi kontaminasi buah sawit atau kernel selama proses. Bagian pencerna mempunyai Stiring Arm 3 unit, berfungsi untuk mengaduk dan memisah serat, daging buah dan cangkang, sedangkan Expeller Arm berfungsi sebagai pendorong buah sawit keluar menuju mesin press. Kapasitas proses dari digester adalah 9.000 kg/jam, untuk meningkatkan produksi CPO dan KPO dapat diperbesar kapasitas terpasang secara parallel.

**Kata kunci:** digester, expeller arm, gear reducer, liner, stirring arm.

### I. PENDAHULUAN

Pengolahan kelapa sawit merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan usaha perkebunan kelapa sawit. Pada proses pengolahan kelapa sawit merupakan rangkaian proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menghasilkan dua jenis minyak, yaitu minyak dari daging buah (*mesocarp*) kelapa sawit atau *Crude Palm Oil (CPO)* dan minyak dari hasil pengolahan inti buah (kernel) kelapa sawit atau *Palm Kernel Oil (PKO)*. Untuk dapat bersaing dipasaran dunia, pengolahan buah kelapa sawit hingga menghasilkan minyak harus memiliki mutu atau kualitas yang baik dan sesuai dengan standar perdagangan internasional.

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan unit pengolahan paling hulu dalam industri pengolahan kelapa sawit khususnya dan industri kelapa sawit umumnya. Sifat yang krusial ini disebabkan oleh beberapa faktor penting, diantaranya adalah:

- Sifat buah kelapa sawit yang segera mengalami penurunan kualitas rendemen bila tidak segera diolah.
- CPO dan KPO merupakan bahan industri olahan kelapa sawit dimana kualitasnya menentukan daya gunanya untuk diolah menjadi produk akhir industri dan konsumen rumah tangga seperti minyak goreng, margarin, kosmetik, sabun dan deterjen, shampoo, dll (Iyung pahan, 2009).

Salah satu proses yang perlu diperhatikan dalam mengolah kelapa sawit adalah pengadukan buah (*digesting*) yang merupakan proses lanjutan dari proses penebahan (*threshing*). Proses pengadukan bertujuan untuk memisahkan daging buah (*mesocarp*) dari biji dan juga membebaskan dari sel-sel yang mengandung minyak. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pengadukan yaitu pelumatan buah harus berjalan baik ditandai daging buah lepas dari biji secara sempurna, hasil adukan tidak boleh terlalu lumat seperti bubur, serat-serat buah harus masih terlihat jelas.

Penggunaan *Digester* harus disesuaikan dengan kapasitas *Screw Press* agar tidak terjadi perubahan masa aduk yang dapat menurunkan efisiensi ekstraksi atau tingkat kehilangan minyak dalam ampas. Untuk memperlama proses pelumatan maka dianjurkan agar volume *digester* terisi

penuh, apabila tidak terisi penuh buah tidak terajang dengan sempurna dan dapat menyebabkan kehilangan minyak dalam ampas akan tinggi.

Pengisian yang tidak sempurna sering terjadi pada saat awal pengo-perasian pabrik, hal ini dipaksakan akibat kekurangan persediaan bahan bakar. Dalam keadaan yang demikian, umumnya dikarenakan efisiensi pengutipan minyak yang sangat rendah (ArieMalangyudo dan Antonius Krisdwiyanto, 2011).

Berdasarkan dari permasalahan diatas, maka dirancang *mesin digester buah kelapa sawit dengan kapasitas 5.000 liter*. Sistem ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan produksi pada lingkup industri pengolahan buah kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil (CPO)* dan *Palm Kernel Oil (PKO)* dan untuk mendukung upaya meningkatkan kualitas serta hasil produksi yang bertaraf internasional.

### 1.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis Guinees Jacq*) adalah tumbuhan tropis golongan palma yang termasuk dalam *family Palawija*. Kelapa sawit biasanya mulai berbuah pada umur 3 - 4 tahun dan buahnya menjadi masak 5 - 6 bulan setelah penyerbukan. Proses pemasakan kelapa sawit dapat dilihat dari perubahan warna kulit buahnya, dari hijau pada buah muda menjadi merah jingga waktu buah telah masak. Pada saat itu kandungan minyak pada daging buahnya telah maksimal. Jika terlalu matang, buah kelapa sawit akan lepas dari tangkai tandannya, (Iyung Pahan, 2007).

Kelapa sawit mempunyai beberapa jenis atau varietas yang dikenal sebagai *Dura (D)*, *Tenera (T)*, *Pesifera (P)*. Ketiga jenis ini dapat dibedakan dengan cara memotong buahnya secara memanjang atau melintang. *Dura* memiliki inti besar dan bijinya tidak dikelilingi sabut dengan ekstraksi minyak sekitar 17- 18%. *Deli Dura* memiliki inti besar dan cangkang tebal serta dipakai oleh pusat-pusat penelitian untuk mem-produksi jenis *Tenera*. *Tenera* merupakan hasil persilangan antara *Dura* dan *Pisifera*, memiliki cangkang tipis dengan cincin serat dise-keliling biji, serta ekstraksi minyak sekitar 22 - 25%. *Pisifera* tidak mempunyai cangkang dengan inti kecil sehingga tidak dikembangkan sebagai tanaman komersial.

### 1.2. Digester Kelapa Sawit

Pada dasarnya sebelum melakukan perancangan suatu mesin, terlebih dahulu mempunyai pandangan tentang elemen-elemen mesin yang terdiri dari; *point of operation*, *power train*, dan *auxilliary* yang akan direncanakan. Perancangan ini membahas tentang poros, bantalan, kopling, motor listrik, lengan pengaduk, liner dan *gear reducer*.

### 1.3. Menghitung gaya yang terjadi pada lengan-lengan pengaduk didalam digester.

Gaya-gaya yang terjadi pada lengan pengaduk didalam digester adalah gaya ( $F_p$ ) yaitu gaya dari massa brondolan terhadap lengan pengaduk, kemudian gaya gesek ( $F_{fr}$ ) yang terjadi karena adanya gesekan brondolan dengan lengan-lengan pengaduk didalam digester saat melakukan pengadukan. Gaya yang digunakan untuk menggerakkan (mengaduk) buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_p = V_{aduk} \times \gamma_{buahsawit} \quad (1)$$

Dalam hal ini:

$F_p$  = Gaya yang digunakan untuk menggerakkan (mengaduk) buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester (kg)

$V_{aduk}$  = Volume aduk ( $m^3$ )

$\gamma_{buahsawit}$  = berat jenis buah sawit ( $kg/m^3$ )

Gaya gesek yang terjadi pada lengan pengaduk merupakan per-kalian gaya yang digunakan untuk menggerakkan (mengaduk) buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester ( $F_p$ ) dengan koefisien gesek dari benda yang bergerak (buah sawit) dibagi dengan jari-jari benda yang bergerak ( $k'$ ), hal ini dapat ditulissebagai persamaan berikut:

$$F_{fr} = k' \cdot \frac{F_p}{R} \quad (2)$$

Dalam hal ini:

$F_{fr}$  = gaya gesek (kg)

$k'$  = koefisien gesek benda, setara koefisien gesek dari tali rami pada metal.

$F_p$  = gaya yang digunakan untuk mengaduk buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester (kg)

$R$  = radius buah sawit yang bergerak (0,03 m)

#### 1.4. Motor listrik

Motor listrik adalah tenaga penggerak dari mesin digester untuk melakukan pengadukan. Sebagai suatu sistem penggerak menggunakan motor listrik AC 3 phase, IP 55 splash proof, class insulation B, dengan daya kemampuan untuk beban kontinyu dan jumlah putaran yang sesuai untuk digester ini.

#### 1.5. Komponen Utama Digester Kelapasawit

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dalam permesinan. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama dengan putaran. Peranan transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Poros ini berfungsi untuk memindahkan tenaga mekanik salah satu elemen mesin ke elemen mesin yang lain. Bantalan yang digunakan dalam pembuatan mesin digester ini adalah bantalan gelinding jenis radial dan aksial dikarenakan gesekan gelinding yang sangat kecil. Elemen gelinding seperti bola atau rol dipasang diantara cincin luar dan cincin dalam. Dengan memutar salah satu cincin tersebut, bola atau rol akan membuat gerakan gelinding sehingga gesekan diantaranya akan jauh lebih kecil.

Kopling berfungsi sebagai sambungan dua buah poros atau sebagai sambungan poros dengan elemen mesin yang dengan terus menerus atau kadang-kadang harus ikut berputar pada poros tersebut.

Dengan transmisi pada umum-nya dimaksudkan suatu mekanisme yang dipergunakan untuk memindahkan gerakan elemen-elemen mesin yang satu ke gerakan elemen mesin yang kedua. Jika dari dua buah roda berbentuk silinder atau kerucut yang saling bersinggungan pada keliling-nya adalah satu diputar, maka yang lain akan ikut berputar pula. Alat yang menggunakan cara kerja semacam ini untuk mentransmisikan daya disebut roda gesek. Cara ini cukup baik untuk meneruskan daya kecil dengan putaran yang tidak perlu cepat.

Bejana tekan digunakan untuk bermacam-macam aplikasi di berbagai sektor industri seperti industri kimia (*petrochemical plant*), energi (*power plant*), minyak dan gas (*oil & gas*), industri makanan, bahkan sampai pada peralatan rumah tangga seperti pemanas air atau *pressure cooker*.

Digester pada dasarnya adalah bejana bertekanan rendah merupakan wadah tertutup yang dirancang untuk menampung buah kelapa sawit dengan diberikan pemanasan menggunakan uap pada temperatur 95 – 100 °C. Pada digester diberi pengaduk untuk mencerna buah kelapa sawit agar sabut dan kernel terpisah.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Kapasitas Mesin Digester.

Kapasitas digester adalah volume digester dikurangi volume poros dan volume 3 unit lengan pengaduk dan satu unit lengan pengeluar buah sawit hasil pencernaan. Kapasitas digester per-jam adalah kapasitas rata-rata dengan proses *batch* disertai dengan pemanasan pada temperatur 95 – 100 °C, dengan tahapan; pemasukan, pengadukan 30 menit dan pengeluaran.

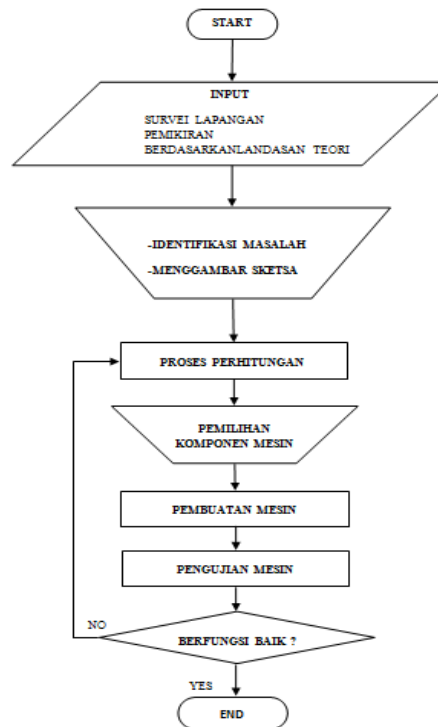
### 2.2. Kapasitas Tampung Digester

Volume tampung dari digester dengan diameter dan tinggi Ø 1.400 x 3.600 mm, adalah 5,538 m<sup>3</sup>. Volume *long arm*, poros, *expeller arm* dan *wall blade* diketahui berdasarkan perangkat lunak *Autodesk Inventor 2014* = 0,540 m<sup>3</sup> sehingga volume digester adalah: 5,538 m<sup>3</sup> – 0,540 m<sup>3</sup> = 4,998 m<sup>3</sup> ≈ 5 m<sup>3</sup> = 5.000 liter.

Kerapatan buah sawit berondolan/irisan (*palm fruit thresed*) adalah ρ = 0,9 Ton/m<sup>3</sup>. Jadi berat digester diisi sawit berondolan/irisan adalah: 5 m<sup>3</sup> x 0,9 Ton/m<sup>3</sup> = 4,5 Ton.

### 2.3 Diagram Alir Perancangan

Tahapan Perancangan proses manufaktur mesin digester buah kelapa sawit kapasitas 5.000 liter. Awal mula dalam cangan mesin dibutuhkan diagram alir. Diagram alir merupakan tahap-tahap yang perlu dilakukan untuk memperoleh sinkronisasi dari beberapa aspek dalam proses perancangan



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perhitungan kapasitas ini dihitung berdasarkan banyaknya hasil pengadukan buah sawit hingga berbentuk menyerupai bubuk, penaburan pada mesin digester dengan satuan kg/det dan lamanya proses dalam satu periodik dengan satuan det selama satu jam.

Lama proses pengadukan dalam satu kali proses adalah 30 menit = 1800 detik menghasilkan 4.500 kg adukan.

$$Q = \frac{4.500 \times 3.600}{1.800}$$

$$= 9000 \text{ kg/jam}$$

Jadi kapasitas mesin digester ini adalah 9000 kg / jam.

#### 3.1. Perhitungan gaya yang terjadi pada lengan-lengan pengaduk didalam digester.

$$F_p = V_{aduk} \times \gamma_{buahsawit}$$

Dalam hal ini:

$F_p$  = Gaya yang digunakan untuk menggerakkan (mengaduk) buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester (kg).

$V$  = volume aduk ( $m^3$ )

$\gamma$  = berat jenis buah sawit ( $kg/m^3$ )

Dikarenakan benda yang diaduk berupa buah yang berbentuk bulatan-bulatan, maka gaya yang digunakan untuk menggerakkan(mengaduk) buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester harus

dikalikan dengan nilai rendemen isi untuk bahan berbentuk bulatan dengan nilai (0,5-0,6), dengan demikian rumus perhitungan gayamenjadi:

$$F_p = V_{aduk} \times \gamma_{buahsawit} \times \text{rendemen isi untuk bahan berbentuk bulatan.}$$

Maka gaya gesekan pada lengan pengaduk adalah sebesar:  $F_p = 301,78 \text{ kg}$

### 3.2. Menghitung gaya gesekan pada lengan pengaduk

$$F_{fr} = k' \cdot \frac{F_p}{R}$$

Dalam hal ini:

$F_{fr}$  = gaya gesek (kg)

$k'$  = koefisien gesek benda (0,33-0,55) = koefisien gesek dari tali rami pada metal

$F_p$  = gaya yang digunakan untuk mengaduk buah sawit oleh lengan pengaduk didalam digester (301,78 kg).

Maka gaya gesekan pada lengan pengaduk adalah sebesar:

$$F_{fr} = 3.520,599 \text{ kg}$$

### 3.3. Perhitungan daya

$$N = \frac{T \cdot n}{71620}$$

Dalam hal ini:

$N$  = Daya (PK),  $T$  = momen puntir (kg.cm), dan  $n$  = putaran poros (rpm)

$$N = \frac{184.075,874 \text{ kg.cm} \times 23 \text{ rpm}}{71620}$$

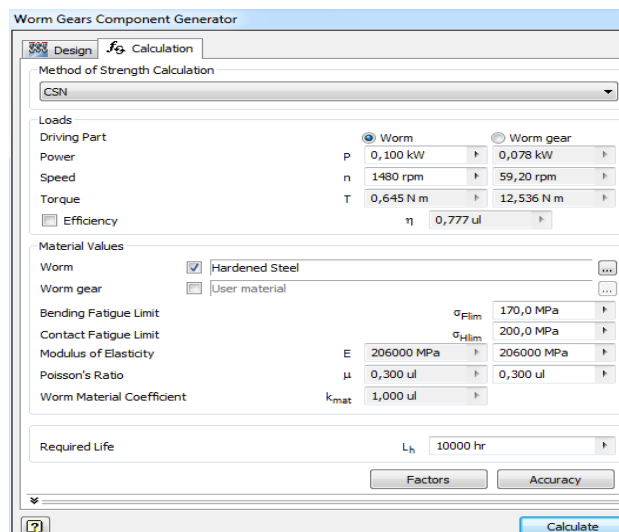
$$= 59,114 \text{ PK atau } 43,507 \text{ kW}$$

### 3.4. Transmisi roda gigi

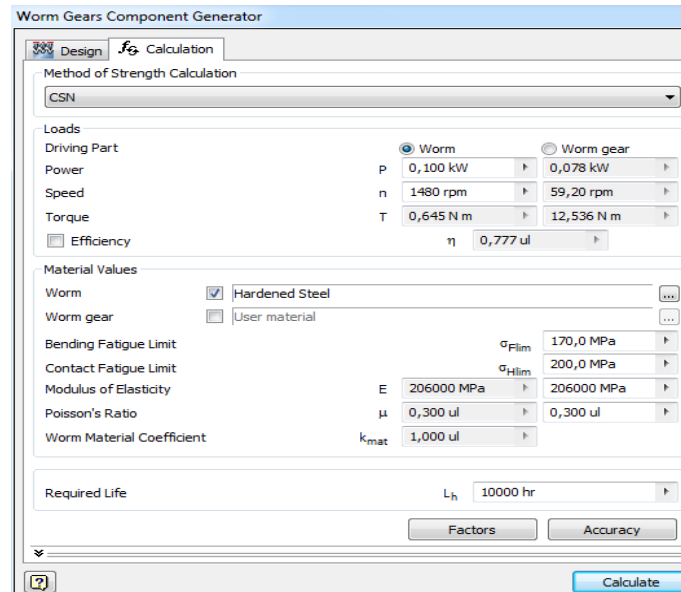
Berdasarkan katalog motor *Baldor Super-E Motor* untuk daya 45 kW dengan putaran 1480 rpm dan putaran poros direncanakan pada saat digester melakukan pencernaan adalah 23 rpm. Sehingga, perbandingan reduksi putaran adalah :

$$i_{tot} = i_1 \times i_2, \quad i_1 = \frac{\pi \cdot m}{Z_w} \text{ (reduksi tingkat pertama), dan } i_2 = \frac{Z_p}{Z_w} \text{ (reduksi tingkat kedua)}$$

Perhitungan kecepatan *worm whell* dan *spurgear* dilakukan dengan bantuan *software Autodesk Inventor 2014*, data yang diperoleh adalah sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 2. (a) dan (b) Hasil perhitungan kecepatan worm gear dan spur gear.

### 3.5. Perencanaan Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari mesin. Putaran utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros, bahan poros dipilih baja karbon paduan ASSAB 705M dengan kekuatan tarik  $\sigma_B$  100 kg/mm<sup>2</sup>. Jenis poros pada perancangan digester ini adalah poros transmisi.

- Menghitung momen puntir pada poros

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{45}{23}$$

$$= 2.329.130 \text{ kg.mm}$$

- Menghitung diameter poros

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{11,9} \times 1 \times 1 \times 2.329.130 \right]^{1/3}$$

$$d_s = 99,9 \text{ mm}$$

- Menghitung tegangan geser yang terjadi pada poros

$$\tau = \frac{5,1 \times 2.329.130}{100^3} = 11,8 \text{ kg/mm}^2$$

- Menghitung tegangan geser izin yang terjadi pada poros

$$\tau_a = \frac{100 \text{ kg/mm}^2}{6 \times 1,4} = 11,9 \text{ kg/mm}^2, \text{ lebih besar dari tegangan geser rancangan.}$$

### 3.6. Perencanaan Bantalan

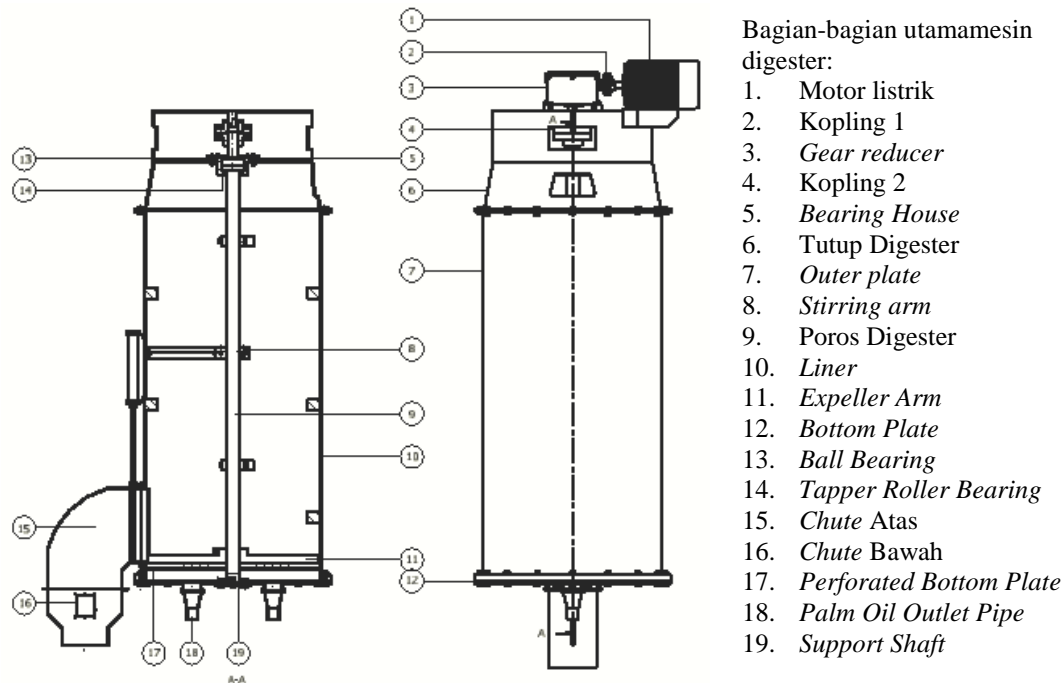
Data spesifikasi dari bantalan, dipilih nomor 29420E, dengan diameter dalam, ( $\varnothing$  in)= 100 mm, diameter luar, ( $\varnothing$  out)= 210 mm, tinggi bantalan, (h) = 67mm.

Kapasitas nominal dinamis spesifik, (C) = 980 kN dengan kapasitas nominal statis spesifik ( $C_0$ )= 2500 kN. Faktor beban radial, (X) = 0,56 dan faktor beban aksial, (Y)= 1,7

### 3.7. Asembli komponen-komponen digester.

Asembli merupakan tahap-tahap penyatuan atau pemasangan seluruh komponen mesin digester, baik komponen-komponen yang dibuat maupun komponen standar yang dibeli dipasaran

seperti *bearing*, mur dan baut, *coupling*, motor listrik, *gear reducer*, *oil seal* dan lain-lain yang termasuk kedalam komponen-komponen mesin digester sehingga menjadi satu kesatuan dan dapat dioperasikan. Asembli juga menggunakan simbol sebagai representasi dari instruksi kode mesin dengan tujuan agar lebih mudah dipahami oleh operator dan dapat dibuat secara lebih mudah.



Gambar 3. Asembli Mesin Digester.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan laporan tugas akhir tentang perancangan mesin digester buah kelapa sawit kapasitas 5.000 liter maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Mesin *digester* berukuran  $\varnothing 1.500\text{mm} \times 3206\text{mm}$  dengan material SS 304 dirancang mampu mengolah buah sawit lepas tandan menjadi bubur buah dengan kapasitas olah digester  $\pm 9.000$  kg/jam.
2. Rancangan mesin *digester*, dengan jumlah *stirring arm* 3 unit, dan *expeller arm* 1 unit. Lengan pengaduk yang lebih banyak akan menyebabkan pelumatan yang berlebihan sehingga terjadi penggenangan minyak di dasar digester, hal ini akan memperkecil gaya gesekan antar buah sawit, penambahan jumlah pasangan lengan kurang ekonomis. Jumlah lengan yang sesuai ialah 4 tingkat dengan kedudukan berselang antara 1 pasang dengan pasangan berikutnya.
3. Putaran poros pengaduk digester 23 rpm, putaran yang lebih tinggi akan menyebabkan genangan minyak dalam alat yang akan mempersulit pemisahan buah sawit dan inti sawit, atau sama halnya dengan jumlah lengan yang diperbanyak.
4. Motor penggerak yang sesuai untuk rate motor continous duty with short-time loading (DKB) dengan *relative duty factor* 1.6, proteksi IP 55 *splash proof*, class insulation B.
5. Dengan menggunakan perancangan parametrik, rancangan digester mampu meningkatkan produksi pelumatan sawit, dengan memperbesar kapasitas alat pengaduk buah kelapa sawit berkapasitas 5.000 liter.

#### Saran.

1. Kilang kelapa sawit adalah sistem pengolahan dan solusi teknologi kelapa sawit, yang telah mampu dilaksanakan sendiri oleh *engineering*, *manufacturing*, dan konstruksi dari perusahaan lokal yang mampu bersaing dengan peralatan kilang kelapa sawit import.
2. Bentuk lengan pengaduk dibuat sedemikian rupa yaitu dapat memisahkan antara serat,

daging dan cangkang buah sawit.

3. Pengoperasian digester (termasuk peralatan proses lainnya) pada temperatur  $\approx 100$  °C, oleh karena itu pemilihan material, bentuk dan konstruksi *stirring arm* dan *expeller arm hub* harus diperhatikan faktor *derating-temperatur*, karena poros digester ini cukup panjang sehingga kemungkinan bengkok, patah lelah cukup besar, agar peralatan kilang atau proses mempunyai umur pakaisesuai rancangan, mengingat mahalnnya biaya pemeliharaan ermasuk kerugian down-time.
4. Pemilihan material yang digunakan untuk pengaduk dan tabung aduk (liner) buah sawit harus terbuat dari material *food grade*, karena berhubungan dengan bahan makanan agar tidak mengkontaminasidalam pemrosesan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ir. Sugiyanto, Divisi Palm Oil Refinery dan Teknologi Ekstraksi, Indonesian Marine, Corp. Ltd., Malang, untuk informasi data sistem pengolahan dan solusi teknologi kelapa sawit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Allgemeine Elektricitats Gesellschaft, 1996, *AEG Manual*, German Standard and VDE Regulation, Beuth Vertrieb GmbH, Berlin-Grunewald.
- Drobovolsky, V. ; Zablonsky, K., 1995, *Machine Elements A Tebook*, Foreign Language Publishing House; Moscow.
- Gupta V., Khurmi PN., 2005, *A Teks Book of Machine Design*, Eurasia Publishing House, Ltd., New Delhi.
- Pahan, Iyung, 2006, *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*, Manajemen Agri Bisnis dari Hulu hingga Hilir, Cetakan Kedua, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Semangoen, H. dan Mangoensokarjo, s. 2003, *Manajemen Agribisnis Kelapa Sawit*. Gadjah Mada University Press; Yogyakarta.
- Shirkovich, M., Koshkin N, *Hand Book of Elementary Physic*. Foreign Language Publishing House: Moscow.
- Sularso ; Suga, Kiyokatsu, 2004, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Cetakan Kesebelas, Pradnya Paramita, PT., Jakarta. Surdia, Tata ; Saito, Shinroku, 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Keenam, Pradnya Paramita, PT., Jakarta.
- Arie Malangyudo & Antonius Krisdwiarto., 2011, *Teknologi Digester dan Press*, termuat di: <http://arieyoedo.blogspot.com/2011/04/teknologi-digester-press.html>.
- Palm Oil Industri*. 2012, *Masa Tahan Digester*, termuat di: <http://mypalmoilindustry.blogspot.com/2012/04/masa-tahan-digester.html>.