

TUGAS AKHIR

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA PROSES PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DI (PKS) PTPN IV UNIT USAHA ADOLINA

*Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dan melengkapi persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

YATNO

1107220056



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2016**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yatno
NPM : 1107220056
Tempat, Tgl Lahir : Aek Tinga, 05 Februari 1993
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya yang berjudul:

“Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembangkit Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun, demi integritas Akademik di Program Studi Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2016
Saya yang menyatakan

Yatno

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT SEBAGAI
BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP GUNA MEMENUHI
KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA PROSES PENGOLAHAN KELAPA
SAWIT DI (PKS) PTPN IV UNIT USAHA ADOLINA**

*Diajukan untuk melengkapi tugas-tugas dan melengkapi persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Diuji dan Disidangkan Pada Tanggal:
22 Maret 2016

Oleh:

YATNO
1107220056

Disetujui Oleh:

Pembimbing –I

Pembimbing –II

Rohana, S.T, M.T

Muhammad Syafril, S.T, M.T

Penguji –I

Penguji -II

Ir. Hermansyah Alam, M.T

Solly Ariza, S.T, M.Eng

Diketahui Oleh :
Program Studi Teknik Elektro
Ketua

Rohana, S.T, M.T

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2016**

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar *boiler* merupakan sebuah pilihan dalam usaha penanggulangan limbah di pabrik kelapa sawit. Salah – satu yang menjadi hal utama dari pemanfaatan tersebut adalah guna terwujudnya kebutuhan energi listrik untuk proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina adalah perusahaan yang bergerak dibidang argoindustri pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (*Crude Palm Oil*), memiliki sistem pembangkit tenaga listrik sendiri (PLTU) dengan kapasitas total daya listrik terpasang sebesar 1480 kW. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar *boiler* (PLTU) guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, diketahui potensi jumlah bahan bakar (cangkang dan serabut) sebesar 6000 kg/jam dan perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* diketahui sebesar 5402,12 kg/jam, sedangkan turbin-generator menghasilkan energi listrik sebesar 974 kWh dan kebutuhan energi listrik untuk proses pengolahan kelapa sawit sebesar 651,14 kWh. Dari hasil analisa data tersebut, maka penelitian ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan limbah padat kelapa sawit (cangkang dan serabut) menjadi bahan bakar *boiler* (PLTU) dapat menghasilkan energi listrik yang mampu mencukupi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit.

Kata Kunci : Limbah Padat, *Boiler*, Energi Listrik, Pembangkit

ABSTRACT

Utilization of solid waste palm oil as fuel for the boiler is an option in the waste management business in palm oil mills. One of that became the main point of such utilization is in order to realize the electrical energy requirements for the process of power generation by generation. (PKS) PTPN IV Adolina Business Unit is a company engaged in oil palm processing argoindustri into CPO (Crude Palm Oil), has its own power generation system (power plant) with a total capacity of installed electric power of 1480 kW. This research aims to study the use of palm oil as a solid waste fuel boiler (power plant) in order to meet the needs of electrical energy in the process of crude palm oil (PKS) PTPN IV Adolina Business Unit. After conducting a study with the observation data analysis in the field, known to the potential amount of fuel (shells and fibers) of 6000 kg/hour and calculation of boiler fuel needs are known by 5402.12 kg/hour, while the turbine-generator to produce electrical energy for 974 kWh and the electrical energy requirements for the processing of palm oil at 651.14 kWh. From the analysis of these data, the study concluded that the use of palm oil solid waste (shells and fibers) into fuel boilers (power plant) can produce electrical energy that is able to meet the electricity needs in the processing of palm oil.

Keywords: *Solid Waste, Boilers, Energy, Power*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran ALLAH.SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yan penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “ **Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina** ”.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda Sakuan dan Ibunda Suparni , yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah, penulis juga mengucapkan terimah kasih kepada abang saya Liono S.Pd dan Adik saya , Nashiruddin Mathumona,

Nur Ilmiana, Dio Kurniawan, dan Hayatul Husna, serta segenap keluarga yang telah memberikan do'a dan dukungan kepada penulis sampai saat ini

2. Bapak Rahmatullah, ST., MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, ST., MT, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Sekaligus sebagai Pembimbing I yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan, dorongan, dan pengarahan kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini
4. Bapak Zulfikar, ST., MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Muhammad Syafril, ST., MT, selaku pembimbing II yang telah memberi wawasan dan arahan yang membangun pada penyusunan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak & Ibu dosen serta pegawai di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Manajer Unit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, Bapak Wilson Siahaan, yang telah memberikan izin melakukan penelitian di pabrik tersebut, serta staf dan karyawan yang dengan senang hati membantu penulis dalam melaksanakan penelitian hingga selesainya tugas akhir ini.
8. Sahabat-sahabat terbaikku, Dedi Andika, Julpan Harahap, Riki Syaputra, Dian Prasetyo, dan Busthomil Arifin Hasibuan yang selalu memberikan do'a, dukungan, serta motivasi terbaik mereka kepada penulis.

9. Segenap teman-teman sejawat dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Fakultas Teknik Elektro angkatan 2011 (Kelas A3 Malam) yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis telah berupaya semaksimal mungkin dalam menyelesaikan skripsi ini, namun penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini di sebabkan keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak untuk memperbaiki skripsi ini

Akhir kata penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, Maret 2016

Penulis

Yatno

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batas Permasalahan	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	8
2.2 Tanaman Kelapa Sawit	9
2.3 Perkembangan Tanaman Kelapa Sawit	13
2.4 Limbah Kelapa Sawit	15
2.4.1 Limbah Padat Kelapa Sawit (LPKS)	16
2.4.2 Limbah Cair Kelapa Sawit (LCKS)	19

2.5	Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	21
2.5.1	Komponen Utama PLTU	21
2.5.2	Prinsip Kerja PLTU	28
2.5.3	Bahan Bakar PLTU	30
2.6	Ketel Uap (<i>Boiler</i>) Pada Pabrik Kelapa Sawit	31
2.6.1	Bagian Utama Pada <i>Boiler</i>	33
2.6.2	Bahan Bakar Ketel Uap (<i>Boiler</i>)	38
2.7	Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit	40
2.8	Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit	42
2.9	Proses Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina	47
2.9.1	Stasiun Penimbangan (<i>Weight Bridge</i>)	49
2.9.2	Stasiun Penerimaan Buah(<i>Fruit Reception Station</i>)	50
2.9.3	Stasiun Perebusan (<i>Sterilizer Station</i>)	52
2.9.4	Stasiun Penebahan (<i>Threshing Station</i>)	56
2.9.5	Stasiun Kempa (<i>Pressing Station</i>)	57
2.9.6	Stasiun Pemurnian Minyak (<i>Clarification Station</i>)	59
2.9.7	Stasiun Pengolahan Biji (<i>Nut Plant Station</i>)	61
2.10	Sarana Pendukung Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina	64
2.10.1	Penyediaan Energi	64
2.10.1.1	Stasiun Ketel Uap (<i>Boiler</i>)	64
2.10.1.2	Stasiun Kamar Mesin (<i>Power House</i>) ..	66
2.10.2	Penyediaan Air	69
2.10.2.1	Stasiun <i>Water Treatment</i>	70

2.10.2.2 Stasiun <i>Demin Plant</i>	71
---	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	72
3.2 Metode Pengambilan Data	72
3.3 Sumber Data	73
3.4 Data Penelitian	73
3.4.1 Data Komposisi Bahan Bakar Biomassa	74
3.4.2 Data Rendamen Terhadap TBS	75
3.4.3 Data Harga Bahan Bakar	75
3.4.4 Data Pembangkit Tenaga Listrik	76
3.4.5 Data <i>Output</i> Listrik Turbin Uap	77
3.4.6 Data Hasil Pengamatan Panel Listrik Utama	77
3.5 <i>Flowchart</i>	78

BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar <i>Boiler</i>	81
4.2 Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit	88

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tanaman Pohon Kelapa Sawit Beserta Buahnya	10
Gambar 2.2 Jenis Buah Kelapa Sawit	11
Gambar 2.3 Minyak Kelapa Sawit Mentah (CPO) Berwarna Kemerahan Karena Kandungan <i>Beta Karoten</i>	12
Gambar 2.4 Minyak Inti Kelapa Sawit (CPKO) Bewarna Lebih Terang Karena Tidak Mengandung <i>Beta Karoten</i>	13
Gambar 2.5 Limbah Padat Kelapa Sawit (a) Tandan Buah Kosong, (b) Cangkang, dan (c) Serabut	19
Gambar 2.6 Kolam Penampungan Limbah Cair Kelapa Sawit	20
Gambar 2.7 Pohon Industri Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit	20
Gambar 2.8 Prinsip Kerja Kondensor Pada PLTU	22
Gambar 2.9 <i>Boiler</i> Pipa Api	26
Gambar 2.10 <i>Boiler</i> Pipa Air	26
Gambar 2.11 Blok Komponen Utama PLTU	27
Gambar 2.12 Prinsip Kerja PLTU	29
Gambar 2.13 <i>Boiler</i> dan Sirkulasi Air Pada Pipa Ketel Uap Yang Digunakan Pabrik Kelapa sawit	33
Gambar 2.14 Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit	40
Gambar 2.15 Proses Konversi Limbah Padat Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik dan Energi Uap Panas (Kalor)	41
Gambar 2.16 Stasiun Penimbangan (<i>Weight Bridge</i>)	50
Gambar 2.17 Stasiun Penerimaan Buah (<i>Loading Ramp</i>)	52
Gambar 2.18 Grafik Perebusan Tiga Puncak	54

Gambar 2.19	Stasiun Perebusan (<i>Sterilizer</i>)	55
Gambar 2.20	Stasiun Penebah Buah (<i>Threshing Station</i>)	57
Gambar 2.21	Stasiun Kempa (<i>Pressing Station</i>)	59
Gambar 2.22	Stasiun Pemurnian Minyak (<i>Clarification Station</i>)	61
Gambar 2.23	Stasiun Pengolahn Biji (<i>Nut Plant Station</i>)	62
Gambar 2.24	Alur Proses dan <i>Material Balance</i> Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina	63
Gambar 2.25	Bagan Alir Penggunaan Uap	65
Gambar 2.26	Ruang Bahan Bakar <i>Boiler</i> Pada Stasiun Ketel Uap	65
Gambar 2.27	Turbin Uap No. 2 Berkapasitas 1000 kVA	66
Gambar 2.28	Genset (<i>Diesel-Generator</i>) Berkapasitas 500 kVa dan 250 kVA	67
Gambar 2.29	Panel Kontrol Utama Pada Kamar Mesin	68
Gambar 2.30	<i>Back Presseur Vessel</i> (BPV)	69
Gambar 2.31	Fasilitas Pada Stasiun <i>Demint Plant</i>	71
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penyusunan Tugas Akhir.....	79
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Langkah Penelitian.....	80
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i>	86
Gambar 4.2	Proses Pengambilan Cangkang dan Serabut Pada Buah Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ...	88
Gambar 4.3	Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina	93

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Luas Areal Tanaman dan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Sumatera Utara Pengelolaan Tahun 2008 – 2012	14
Tabel 2.2 Luas Areal dan Produksi Kelapa Sawit Menurut Status Pengusahaan di Sumatera Utara Pengelolaan 2013 - 2015 ..	15
Tabel 3.1 Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar (<i>Blommendal</i>)	74
Tabel 3.2 Komposisi Kandungan Bahan Bakar	74
Tabel 3.3 Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar	75
Tabel 3.4 Rendamen Terhadap TBS (<i>Material Balance</i>)	75
Tabel 3.5 Harga Bahan Bakar Solar, Cangkang, dan Serabut	76
Tabel 3.6 Spesifikasi Mesin Pembangkit Tenaga Listrik	76
Tabel 3.7 <i>Output</i> Daya Listrik Turbin Uap No. 2	77
Tabel 3.8 <i>Output</i> Daya Listrik Turbin Uap No. 3	77
Tabel 3.9 Tegangan, Cos ϕ , dan Arus Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama	78
Tabel 4.1 Jumlah Potensi Produksi LPKS Berdasarkan Kapasitas Pengolahan Pabrik 30 Ton TBS/jam	83
Tabel 4.2 Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i>	85
Tabel 4.3 Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i>	85
Tabel 4.4 Daya Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama	91
Tabel 4.5 Persentase Kebutuhan Energi Listrik Terhadap Jumlah Kegiatan Pada Setiap Kegiatan Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina	92
Tabel 4.6 <i>Output</i> Listrik Turbin Uap No.2 dan Turbin Uap No. 3	93

Tabel 4.7 Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Terhadap *Output*

Listrik Turbin Uap 94

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Potensi Perkebunan Kelapa Sawit PTPN IV Kebun Adolina
- Lampiran 2 Perhitungan Pengolahan Data
- Lampiran 3 Perhitungan Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar Biomassa Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit
- Lampiran 4 Unit Pembangkit Listrik (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina
- Lampiran 5 Alur Proses dan *Material Balance* Proses Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina
- Lampiran 6 *Flowsheet* Proses Produksi di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina
- Lampiran 7 Lokasi/Tempat Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi perkebunan yang cukup populer di masyarakat, karena menjanjikan keuntungan yang cukup besar serta biaya berkebun kelapa sawit lebih murah dan tidak rumit. Hampir di sebagian wilayah Indonesia terdapat lahan pertanian kelapa sawit, karena dapat tumbuh dengan baik di dataran tinggi maupun dataran rendah dan merupakan salah-satu tanaman penghasil minyak nabati. Berdasarkan buku statistik komoditas kelapa sawit terbitan Ditjen Perkebunan, pada tahun 2014 luas areal kelapa sawit mencapai 10,9 juta Ha dengan produksi 29,3 juta ton CPO. Ini menunjukkan tanaman kelapa sawit di Indonesia berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama limbah padat atau cair kelapa sawit.

Dalam memenuhi energi listrik, pabrik kelapa sawit harus mampu menyediakan beberapa hal penting untuk menghasilkan energi listrik tersebut. Dalam hal ini, ketersediaannya bahan bakar menjadi hal utama guna terwujudnya kebutuhan energi listrik untuk proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit. Namun pabrik pengolahan kelapa sawit pada suatu waktu akan menghadapi masalah yang berhubungan dengan kekurangan bahan bakar dalam kariernya (Effendi Lubis, 1987). Tentunya hal ini merupakan masalah yang serius, karena tanpa bahan bakar, pabrik tidak dapat menghasilkan uap dan tanpa uap pengolahan tidak dapat dilaksanakan. Kurang tersedianya uap dalam jumlah yang cukup, dapat menimbulkan serangkaian reaksi yang akan mempengaruhi mutu dan jumlah produksi yang dihasilkan pabrik.

Untuk ketersediaan bahan bakar, (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mempunyai kapasitas produksi 30 ton TBS/jam. Bahan bakar yang dihasilkan limbah padat kelapa sawit (LPKS) berupa cangkang dan serabut yang diperoleh dari hasil pembuangan pengolahan tandan buah segar (TBS) dan memanfaatkannya menjadi bahan bakar utama pada *boiler* untuk menghasilkan uap yang akan menggerakkan turbin uap dan menghasilkan daya listrik guna didistribusikan melalui instalasi listrik ke pabrik untuk proses pengolahan. Ini bertujuan untuk menekan biaya operasional pabrik dan mengurangi pencemaran lingkungan di areal pabrik maupun sekitarnya. Konsumsi bahan bakar *boiler* sebesar 25% cangkang dan 75% serabut atau pemakaiannya 1 : 3.

Dalam proses pengolahan kelapa sawit, terjadi beberapa tahapan proses yang memerlukan masukan-masukan energi. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut dibutuhkan generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Pada (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ini mengolah bahan baku kelapa sawit menjadi minyak mentah sawit (CPO). Untuk mengolah kelapa sawit tersebut menggunakan *boiler* sebagai pembangkit listrik tenaga uap (Generator), *boiler* merupakan suatu peralatan yang dioperasikan agar memproduksi uap panas yang kemudian dapat digunakan sebagai tenaga penggerak, alat pemanas, pembersih, penguap cairan dan kegunaan lainnya, uap jenuh yang dihasilkan difungsikan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dapat menghasilkan daya listrik, daya listrik yang dihasilkan di simpan dalam panel induk untuk dapat didistribusikan pada panel distribusi. Dalam proses pengolahan kelapa sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dibutuhkan energi listrik sebesar 651,14 kWh, sedangkan energi listrik yang dihasilkan oleh setiap turbin uap tidak selamanya mencukupi

dalam pengolahan kelapa sawit. Kekurangan energi listrik dikarenakan produksi uap dari *boiler* tidak stabil (kurang) yang menyebabkan tidak dapat memutar turbin uap dua unit sekaligus. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, maka daya disuplai dari genset dan listrik PLN.

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jumlah potensi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan *boiler* guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah jumlah potensi limbah padat kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina yang dapat dioptimalkan sebagai bahan bakar *boiler* pada pembangkit tenaga listrik uap ?
2. Berapakah konsumsi energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa jumlah potensi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar *boiler* pada pembangkit tenaga listrik uap di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

2. Menganalisa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

1.4 Batas Permasalahan

Untuk mendapatkan hasil pembahasan yang maksimal, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas. Adapun batas permasalahan adalah:

1. Tugas akhir ini hanya membahas pemanfaatan cangkang dan serabut sebagai bahan bakar *boiler* pada PLTU untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.
2. Kebutuhan energi listrik yang dibahas dalam tugas akhir ini hanya pada proses pengolahan kelapa sawit saja.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan pokok-pokok permasalahan diatas, manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) sebagai dokumentasi bagi universitas untuk mahasiswa agar dapat dijadikan bahan referensi dalam meningkatkan ilmu pengetahuan dibidang energi baru dan terbarukan.
2. Bagi (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina sebagai bahan masukan bagi perusahaan/pengelola pabrik untuk mengantisipasi dan mengamati lebih lanjut keadaan pabrik dalam hal penyediaan bahan bakar *boiler* dan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit.

3. Bagi mahasiswa penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk pengembangan penelitian lanjutan.

1.6 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Metode Literatur

Metode ini dilakukan dengan cara studi pustaka, melihat referensi dari buku maupun internet untuk keperluan dasar teori.

2. Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan melihat langsung permasalahan dilapangan dan melakukan konsultasi atau berdiskusi kepada pihak-pihak yang berkompeten dalam hal ini operator dilapangan, untuk mengetahui gambaran dan informasi secara lebih jelas terhadap berbagai masalah dalam studi ini.

3. Metode Wawancara

Dalam metode ini penulis memperoleh data melalui wawancara/diskusi dan Tanya Jawab dengan pembimbing lapangan, teknis yang mengetahui banyak tentang masalah yang dibicarakan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batas permasalahan, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan secara singkat dasar-dasar teori yang digunakan sebagai ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yang berkaitan dengan tanaman kelapa sawit, proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak mentah (CPO), limbah padat kelapa sawit, serta bahan bakar dan prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, jadwal penelitian, teknik pengambilan data penelitian, dan jalannya penelitian.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Analisis data hasil survei lapangan yang telah dilakukan, membahas tentang jumlah potensi limbah padat kelapa sawit yang dimanfaatkan menjadi bahan bakar utama pada *boiler* untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan, dan serta memuat saran-saran yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Indra Kusumah Permata (2011) dalam penelitian tentang studi pemanfaatan biomassa limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar PLTU, mengatakan bahwa limbah padat kelapa sawit jenis Tandan Kosong Kelapa Sawit memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi yaitu sebesar 4492 kkal/kg, sedangkan Cangkang sebesar 3500 kkal/kg – 4100 kkal/kg dan Serabut sebesar 2637 kkal/kg – 3998 kkal/kg. Bahan bakar dari biomassa merupakan *energy renewable*, sehingga tidak dapat habis. Dampak lingkungan yang ditimbulkan pada pembangkit ini tergolong cukup rendah, bila dibanding dengan pembangkit yang menggunakan gas dan batu bara [8].

Ika Sapto Mustikaningsih (1996) melakukan penelitian tentang analisa konsumsi energi pada proses pengolahan kelapa sawit. Menyimpulkan bahwa kebutuhan bahan bakar ketel uap untuk turbin-generator secara teoritis yang digunakan di pabrik Kertajaya adalah 4,3 ton serat dan cangkang tiap jam-nya, sedikit berbeda dengan kebutuhan bahan sebenarnya yaitu 4,6 ton/jam. Sedangkan berdasarkan aliran energi diperoleh bahwa dari 2.763.140,2 kJ/jam energi listrik yang dihasilkan pabrik sebesar 53,8% digunakan untuk pengolahan kelapa sawit, yaitu 1.498.953,2 kJ/jam [11].

Bambang Surnawan dan Riyadi Juhana (2013) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah sawit untuk bahan bakar energi baru dan terbarukan (EBT), menyimpulkan bahwa berdasarkan manfaat maka limbah TKKS lebih cocok untuk sumber bahan bakar listrik biomassa (PLT Biomassa) sangat layak

untuk digunakan. Dengan tersedianya bahan baku untuk energi alternatif, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang dan serabut, diharapkan dapat mengurangi kekurangan pasokan listrik yang manfaatnya untuk peningkatan pembangunan kesejahteraan masyarakat [14].

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, maka penelitian ini akan membahas tentang “Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ” dengan tujuan untuk menganalisa seberapa besar potensi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif sumber energi listrik, menganalisis konsumsi bahan bakar ketel uap (*boiler*), dan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

2.2 Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman dengan nilai ekonomis yang cukup tinggi, karena merupakan salah-satu tanaman penghasil minyak nabati. Biaya produksi yang murah, produksi per hektar yang tinggi, umur ekonomis yang panjang, resiko usaha kecil, persediaan yang cukup serta penggunaannya yang beraneka ragam sangat mengukuhkan daya saingnya dengan minyak nabati lainnya seperti kedele, kelapa, biji bunga matahari, dan lain-lain. Kelapa sawit termasuk tumbuhan pohon, tingginya dapat mencapai 24 meter, bunga dan buahnya berupa tandan, serta bercabang banyak. Buahnya kecil dan apabila masak, berwarna merah kehitaman. Daging buahnya padat mengandung minyak

yang digunakan sebagai bahan minyak goreng, sabun, dan lilin. Ampasnya dimanfaatkan untuk makanan ternak, khususnya sebagai salah satu bahan pembuatan makanan ayam dan tempurungnya digunakan sebagai bahan bakar dan arang.



Gambar 2.1 Tanaman Pohon Kelapa Sawit Beserta Buahnya

Hasil dari tanaman kelapa sawit bisa dimanfaatkan diantaranya sebagai penghasil minyak dan juga sebagai bahan bakar biomassa. Tanaman kelapa sawit memiliki dua bagian, antara lain:

1. Bagian Generatif

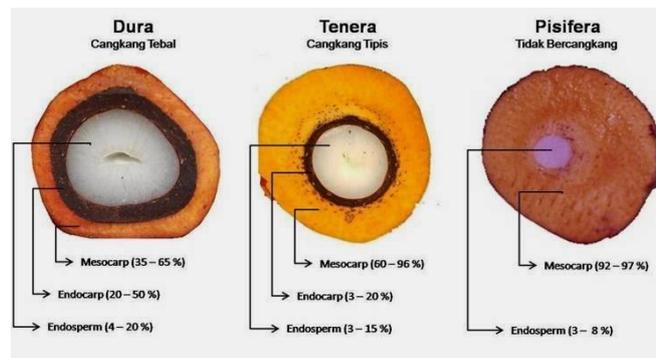
Bagian Generatif merupakan bagian dari kelapa sawit yang meliputi akar, batang dan daun.

2. Bagian Vegetatif

Bagian Vegetatif meliputi bunga dan buah. Cangkang, Serabut (*fibre*) dan tandan kosong sawit (TKS) berasal dari buah kelapa sawit.

Hampir sebagian besar tanaman kelapa sawit unggul untuk kepentingan komersial adalah berjenis *Tenera*. Dimana jenis tersebut dihasilkan dengan menyilangkan *Dura* dan *Psifera*. Sedangkan jenis sawit yang tidak unggul

umumnya berjenis *Dura* atau *Psifera*. Jenis *Tenera* memiliki produksi dan rendeman tinggi, serta pengolahannya tidak merusak mesin. Sebaliknya untuk jenis *Dura* atau *Psifera*, produktivitas rendah, rendemen 16%, *palm kernel oil* (PKO) tidak dapat dimanfaatkan karena cangkang tidak dapat dipecahkan dan dapat merusak mesin pabrik. *Tenera* yang unggul tersebut hanya dihasilkan oleh sumber benih yang telah memiliki koleksi induk *Dura* dan *Psifera* terpilih. Sedangkan sawit asalan yang berjenis *Dura* atau *Psifera* umumnya dikumpulkan langsung dari kebun-kebun produksi.



Gambar 2.2 Jenis Buah Kelapa Sawit

Dalam kegiatan operasional pengolahan tandan buah segar (TBS) di pabrik kelapa sawit, akan menghasilkan produk utama (*Main Produk*) berupa *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO). Bagian yang diolah dari kelapa sawit adalah buah. Bagian daging buah menghasilkan minyak kelapa sawit mentah yang diolah menjadi menjadi bahan baku minyak goreng dan berbagai jenis turunannya. Selain dari bagian serabut buah atau *mesokarp*, inti atau kernel buah juga dapat diolah menjadi minyak inti yang kemudian menjadi bahan baku minyak alkohol dan industri kosmetik. Buah diproses dengan membuat lunak

bagian daging buah dengan temperatur 90°C. Daging yang telah melunak dipaksa untuk berpisah dengan bagian inti dan cangkang dengan pressing pada mesin silinder berlubang. Daging inti dan cangkang dipisahkan dengan pemanasan dan teknik pressing. Setelah itu dialirkan ke dalam lumpur sehingga sisa cangkang akan turun ke bagian bawah lumpur. Sisa pengolahan buah sawit sangat potensial menjadi bahan campuran makanan ternak dan difermentasikan menjadi kompos.

Tandan Buah Segar (TBS) dengan mutu yang baik akan menghasilkan:

- a) Minyak sebanyak 20 - 25%
- b) Inti (*kernel*) sebanyak 4 - 6%
- c) Cangkang (*shell*) 5 - 9%
- d) Tandan Kosong (*empty fruit bunch*) 20 - 22%
- e) Serat (*fiber*) 12 - 14%

Sedangkan buah berondolan akan menghasilkan:

- a) Minyak sebanyak 30 - 40%
- b) Biji (*nut*) 15 - 17%
- c) Serat (*fiber*) 14 - 30%
- d) Sampah 2 - 10%



Gambar 2.3 Minyak Kelapa Sawit Mentah (CPO) Berwarna Kemerahan Karena Kandungan *Beta Karoten*



Gambar 2.4 Minyak Inti Kelapa Sawit (CPKO) Bewarna Lebih Terang Karena Tidak Mengandung *Beta Karoten*

2.3 Perkembangan Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) di Indonesia baru diusahakan sebagai tanaman komersial pada tahun 1912 dan ekspor minyak sawit pertama dilakukan pada tahun 1919. Perkebunan kelapa sawit pertama dibangun di Tanah Hitam, Hulu Sumatera Utara oleh Schadt seorang Jerman pada tahun 1911. Daerah penyebaran kelapa sawit di Indonesia terutama di daerah pantai timur Sumatera, Aceh, Kalimantan, Sulawesi dan Papua Barat. Pada masa orde baru, pembangunan perkebunan kelapa sawit diarahkan untuk menciptakan lapangan pekerjaan, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menghasilkan devisa Negara. Pada masa itu, pemerintah Indonesia terus mendorong pembukaan lahan baru untuk perkebunan kelapa sawit hingga tahun 1980, sehingga mencapai luas lahan 294.560 Ha dengan produksi CPO (*Crude Palm Oil*) sebesar 721.172 ton. Sejak itu perkebunan kelapa sawit terus berkembang dengan pesat, terutama perkebunan kelapa sawit rakyat.

Secara umum kondisi perkebunan kelapa sawit di Provinsi Sumatera Utara cukup berkembang dengan baik. Hal ini terbukti dengan terus bertambahnya

areal perkebunan baik perkebunan rakyat, swasta asing, maupun nasional dan perkebunan Negara (PTPN). Di wilayah Provinsi Sumatera Utara saat ini terdapat tiga Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Perkebunan yakni PTPN II, PTPN III, dan PTPN IV. Luas tanaman dan produksi kelapa sawit berdasarkan pengelolaan tahun 2008 - 2012 seperti terlihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Luas Areal Tanaman dan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Pengelolaan Tahun 2008 - 2012

Tahun	Rincian	Perk. Rakyat	PTPN	Swasta Nasional	Swasta Asing	Total
2008	Luas (Ha)	379.853	294.943	237.462	106.948	1.019.206
	Produksi (Ton)	5.070.760	4.422.338	3.064.211	1.527.575	14.084.884
2009	Luas (Ha)	392.721	299.604	244.283	109.105	1.045.713
	Produksi (Ton)	5.088.579	4.668.827	3.075.401	1.529.848	14.362.655
2010	Luas (Ha)	396.564	305.435	251.489	112.323	1.065.811
	Produksi (Ton)	5.221.132	4.823.524	3.107.385	1.545.758	14.697.799
2011	Luas (Ha)	405.799	306.302	248.426	115.168	1.075.695
	Produksi (Ton)	5.428.535	4.972.107	3.190.120	1.592.849	15.183.610
2012	Luas (Ha)	405.921	306.394	248.500	115.203	1.076.018
	Produksi (Ton)	5.568.269	5.099.890	3.191.106	1.633.785	15.493.050

Sumber: Dinas Perkebunan Provinsi Sumatera Utara

Berdasarkan data yang disajikan di atas, diperoleh gambaran bahwa terjadi fluktuasi perkembangan areal dan produksi perkebunan kelapa sawit di Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan data tersebut, secara umum terjadi peningkatan luas areal perkebunan. Perkembangan luas areal perkebunan sawit yang dikelola oleh rakyat mengalami peningkatan dari 379.853 Ha pada tahun 2008 menjadi 405.921,08 Ha pada tahun 2012 (naik 6.86%), PTPN mengalami peningkatan dari 299.604 Ha pada tahun 2008 menjadi 306.393,62 Ha pada tahun 2012 (naik 3,88%). Perkebunan Besar Swasta Nasional dari 237.462 ha pada tahun 2008

menjadi 248.500,45 Ha pada tahun 2012 (naik 4,65%), dan Perkebunan Besar Swasta Asing meningkat dari 106.948 ha pada tahun 2008 menjadi 115.202,57 ha pada tahun 2012 (naik 7,72 %).

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat dilihat secara umum produksi kelapa sawit berupa tandan buah segar (TBS) juga mengalami peningkatan baik perkebunan rakyat, PTPN, perkebunan besar swasta nasional (PBSN) dan perkebunan besar swasta asing (PBSA) dari tahun 2008 hingga 2012. Dari data tahun 2008 sampai 2012, peningkatan produksi untuk perkebunan rakyat sebesar 9,8%, PTPN sebesar 15,3%, PBSN sebesar 4,14%, dan PBSA sebesar 6,95%.

Luas areal dan produksi kelapa sawit di Sumatera Utara berdasarkan pengelolaan tahun 2013 - 2015 dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Luas Areal dan Produksi Kelapa Sawit Menurut Status Pengusahaan di Sumatera Utara

Tahun	Perkebunan Rakyat		Perkebunan Negara		Perkebunan Swasta		Total	
	Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)
2013	393.653	1.185.309	315.229	1.058.264	631.466	2.305.629	1.340.348	4.549.202
2014*	411.344	1.264.942	324.111	1.080.517	657.077	2.408.028	1.392.532	4.753.488
2015**	428.345	1.339.460	333.243	1.103.237	683.099	2.516.430	1.444.687	4.959.128

Sumber: Ditjen Perkebunan Indonesia, 2014

Keterangan:

2014* : Angka Sementara

2015** : Angka Estimasi

2.4 Limbah Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi terbesar di beberapa daerah di Indonesia. Hal inilah yang mengharuskan dibangunnya pabrik-pabrik kelapa

sawit di daerah yang berdekatan dengan perkebunan kelapa sawit. Dengan adanya pabrik-pabrik ini, menyebabkan banyaknya limbah yang dihasilkan dari proses produksi yang dijalankan dipabrik-pabrik tersebut.

Dalam kegiatan operasional di pabrik kelapa sawit (PKS), disamping akan menghasilkan produk utama (*Main Produk*) berupa *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO), juga akan menghasilkan produk sampingan (*By-Product*), baik berupa limbah padat maupun limbah cair dan juga polutan ke udara bebas (khusus bagi PKS yang menggunakan *incerator*). Aktifitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah dalam volume sangat besar. Limbah tersebut memiliki nilai kalor cukup tinggi. Pemanfaatannya akan menghasilkan bahan bakar yang bisa dipakai salah satunya untuk pembangkitan listrik.

Secara umum, limbah PKS dikelompokkan menjadi limbah padat dan limbah cair (*Palm Oil Mill Effluent/POME*). Biasanya limbah cair tersebut mengandung bahan organik dalam kadar tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan karena diperlukan degradasi bahan organik yang lebih besar. Mekanisme kontrol konsumsi air di seluruh proses di pabrik akan menentukan pemakaian air dan sekaligus volume air limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit (PKS).

2.4.1 Limbah Padat Kelapa Sawit (LPKS)

Limbah padat pabrik kelapa sawit (PKS) dikelompokkan menjadi dua, yaitu limbah yang berasal dari pengolahan dan yang berasal dari basis pengolahan limbah cair. Limbah padat yang berasal dari proses pengolahan berupa tandan buah kosong (TBK = *Empty Fruit Bunch*) yang terbuang dari penebah setelah

tandan rebus dipisahkan dari buahnya, yaitu cangkang (*palm shell*) dan serabut (*fiber*). Sedangkan limbah padat yang berasal dari pengolahan limbah cair berupa lumpur aktif yang terbawa oleh hasil pengolahan air limbah. Adapun karakteristik tiap jenis pada limbah padat kelapa sawit, yaitu :

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Limbah ini dapat dihasilkan dari tandan brondolan yaitu tandan buah segar (TBS) yang terlalu matang yang buahnya terlepas dari tandannya saat masih berada di perkebunan, keadaan tandannya kering. Sedangkan di pabrik pengolahan kelapa sawit adalah hasil proses *sterilising* dan *threshing* dengan keadaan tandan basah. Berdasarkan literature yang ada kandungan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mengandung Selulosa 41,3% - 46,5% (C₆H₁₀O₅)_n, Hemi Selulosa 25,3% - 32,5% dan mengandung lignin 27,6% - 32,5%.

2. Cangkang (*Shell*)

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3500 kkal/kg – 4100 kkal/kg.

3. Serat (*Fiber*)

Serat merupakan limbah sisa perasan buah sawit berupa serabut seperti benang. Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (*lignin* 26%) serta mempunyai kalor 2637 kkal/kg – 3998 kkal/kg. Serabut (*fiber*) kelapa sawit sebagai alternatif bahan bakar merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit yakni ampas serabut

(*fiber*) yang di produksi dari stasiun *fiber cyclone* setelah melewati proses ekstraksi melalui unit *screw press*.

4. *Wet Decanter Solid* (Lumpur Sawit)

Dalam proses pengolahan minyak sawit (CPO) dihasilkan limbah cair sangat banyak, yaitu sekitar 2,5 m³/ton CPO yang dihasilkan. Limbah ini mengandung bahan pencemar sangat tinggi, yaitu *biochemical oxygen demand* (BOD) sekitar 20.000 - 60.000 mg/l. Pengurangan bahan padatan dari cairan ini dilakukan dengan menggunakan suatu alat *decanter* yang menghasilkan lumpur sawit. Bahan padatan ini berbentuk seperti lumpur, dengan kandungan air sekitar 75%, protein kasar 11,14% dan lemak kasar 10,14%. Kandungan air yang cukup tinggi, menyebabkan bahan ini mudah busuk. Apabila dibiarkan di lapangan bebas dalam waktu sekitar 2 hari, bahan ini terlihat ditumbuhi oleh jamur yang berwarna kekuningan. Apabila dikeringkan, lumpur sawit berwarna kecoklatan dan terasa sangat kasar dan keras.

Pada dasarnya semua limbah padat pabrik kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam pabrik kelapa sawit, yaitu sebagai bahan bakar ketel uap untuk memasok kebutuhan uap panas dan pembangkitan listrik. Limbah serabut dan cangkang dapat dipakai langsung begitu keluar dari proses produksi sebagai bahan bakar. Tergantung pada rancangannya, ketel uap dapat dioperasikan dengan memanfaatkan 100% cangkang, 100% serabut atau kombinasi antara keduanya. Proses konversi energi untuk menghasilkan uap yang diperlukan dalam pembangkitan listrik maupun keperluan proses diperoleh dari pembakaran langsung. Pembakaran merupakan proses oksidasi bahan bakar yang berlangsung secara cepat untuk menghasilkan energi

dalam bentuk kalor. Karena bahan bakar biomassa utamanya tersusun dari karbon, hidrogen dan oksigen, maka produk oksidasi utama adalah karbondioksida dan air, meskipun adanya nitrogen terikat juga dapat menjadi sumber emisi oksida nitrogen.



Gambar 2.5 Limbah Padat Kelapa Sawit (a) Tandan Buah Kosong, (b) Cangkang, dan (c) Serabut

2.4.2 Limbah Cair Kelapa Sawit (LCKS)

Mangoensoekarjo dan Semangun (2005) menyebutkan bahwa limbah cair mencapai 40% – 70% TBS yang diolah. Kisaran volume tersebut tergantung juga pada sistem pengolahan limbah pabrik. Salah satu limbah cair PKS dengan potensi dampak pencemaran lingkungan adalah lumpur (*sludge*) yang berasal dari proses klarifikasi dan disebut dengan lumpur primer. Lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut dengan lumpur sekunder. Lumpur mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi dengan pH kurang dari 5.

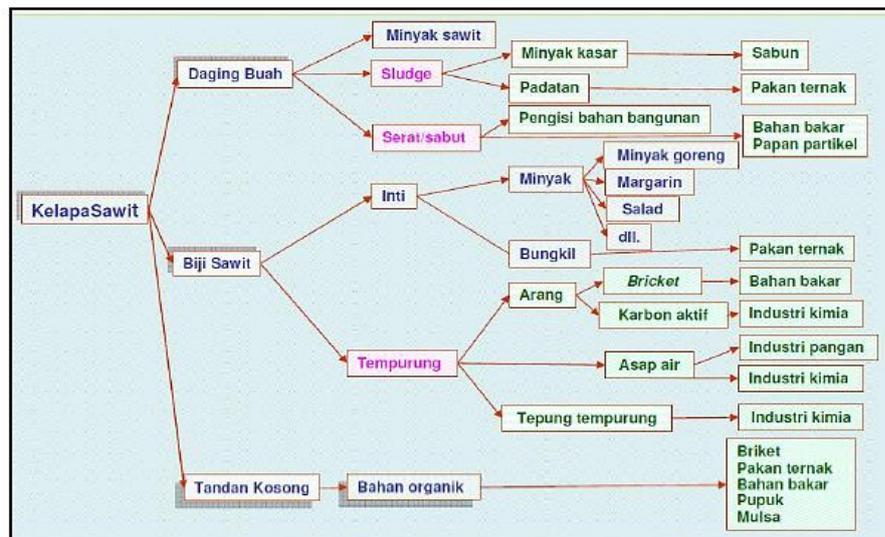
Pada pabrik kelapa sawit yang mengolah 40 ton TBS/jam akan dihasilkan limbah cair sebanyak 20 m³/jam (dasar perhitungan: 55% dari TBS dengan berat jenis 1,1 gr/cm³; Kartiman, 2008). Jika pabrik bekerja selama 20 jam/hari, maka akan dihasilkan limbah cair sebanyak 400 m³/hari. Nilai Kalor Limbah Pabrik

Kelapa Sawit (diolah dari Sukimin, 2007, Isroi dan Mahajoeno, 2007, Goenadi, 2006, dan Sydgas, 1998).



Gambar 2.6 Kolam Penampungan Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah padat dan limbah cair pada generasi berikutnya terdapat pada Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Pohon Industri Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah suatu pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama (*prime mover*). Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran untuk memanaskan air. PLTU merupakan suatu sistem pembangkitan tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan proses sudu-sudu turbin menggerakkan poros turbin, selanjutnya poros turbin akan menggerakkan generator yang kemudian dibangkitkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disuplai ke alat-alat listrik yang disebut beban. Sistem kerja PLTU menggunakan bahan bakar minyak residu/(MFO) solar dan gas alam. Kelebihan dari PLTU adalah daya yang dihasilkan sangat besar. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap. Komponen utama PLTU adalah kompresor, ruang bakar, turbin uap, dan generator.

2.5.1 Komponen Utama PLTU

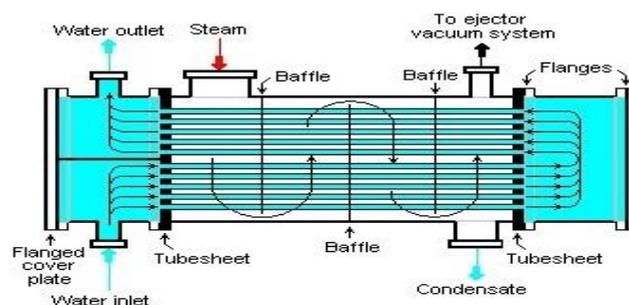
Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memiliki berbagai komponen utama antara lain *boiler*, turbin, generator, transformator, dan gardu induk. PLTU merupakan mesin pembangkit termal yang terdiri dari komponen utama dan komponen bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya. Peralatan utama tersebut memiliki komponen-komponen tersendiri yang sangat kompleks. Untuk lebih jelasnya akan dibahas beberapa komponen-komponen utama yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

1. Turbin

Turbin merupakan penggerak utama pada PLTU yang memutar generator, disamping itu ada juga sebagai penggerak pompa air pengisi. Dari konversi energi, turbin berfungsi sebagai pengubah energi potensial yang terkandung dalam uap menjadi energi kinetis dan mekanis. Makin besar ukuran/kapasitas turbin, efisiensinya makin lebih tinggi. Karena menggunakan uap dengan suhu dan tekanan tinggi, disamping karena kerugian-kerugian (*losses*) lebih rendah secara proposional.

2. Kondensor

Kondensor adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Pada sistem tenaga uap, fungsi utama kondensor adalah untuk mengubah steam menjadi cairan sehingga dapat dipompakan kembali ke *boiler*. Uap yang berasal dari turbin mengalir di luar pipa-pipa sedangkan air pendingin mengalir melalui bagian dalam pipa. Air pendingin ini berasal dari laut. Batas antara air laut sebagai pendingin dan air kondensat di dalam kondensor adalah pipa kondensor. Karena itu kebocoran pipa kondensor sangat membahayakan. Karena kebocoran tersebut dapat mengotori air pengisian.



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Kondensor Pada PLTU

3. Sistem Pendingin Utama

Pendinginan merupakan bagian penting pada PLTU. Sebagai gambaran bahwa unit dengan kapasitas 50 MW membutuhkan air pendingin sebanyak 11.000 m³/jam. Inilah salah satu sebab bahwa umumnya PLTU dibangun dekat dengan sumber air yang cukup seperti laut atau sungai. Bagian yang terpenting dari sistem pendingin utama antara lain adalah perlengkapan saringan, pompa sirkulasi, menara pendingin dan sebagainya.

Yang dimaksud dengan sistem pendingin utama ini adalah pendingin untuk kondensor. Ada dua macam sistem pendingin utama yaitu :

1. Sistem Pendingin Terbuka (*Direct Cooled System*)

Pada sistem ini air pendingin setelah melalui kondensor langsung dibuang, biasanya sistem menggunakan air laut atau air sungai.

2. Sistem Pendingin Tertutup (*Closed Cooling Tower*)

Dimana air pendingin yang keluar dari kondensor didinginkan kembali pada menara pendingin (*cooling tower*) untuk dipakai lagi sebagai air pendingin. Disini kebutuhan air hanya sebagai penambah dan pembilas saja.

4. Pompa Air Kondensat (*Condensate Water Pump*)

Pompa air kondensat ini berfungsi sebagai pemindah air hasil penguapan dari kondensor (ditampung pada bagian bawah kondensor, yang dinamakan *Hot Well*) ke tangki air pengisi atau sering disebut *deaerator* dan tangki air pengisi selalu satu konstruksi.

5. Pemanas Air Pengisi (*Feet Water Heater*)

Fungsi dari pemanas ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan menaikkan suhu serta tekanan air pengisi secara bertahap, sebelum memasuki ketel. Jenis dari pemanas ini adalah :

1. Surface Type

Yaitu uap pemanas yang tidak dihubungkan langsung dengan air pengisi, air pengisi disalurkan di dalam pipa-pipa dan uap yang berada diluarnya. Pada tipe ini yang paling sering digunakan.

2. Direct Contact Type

Yaitu uap pemanas dan air pengisi yang bercampur secara langsung. Tipe ini terdapat pada *daerator* (pembuang udara), dimana air pengisi yang ditebarkan menjadi butiran-butiran air yang disemprotkan dengan uap.

6. Deaerator

Deaerator adalah bagian dari sistem air pengisi yang berfungsi sebagai penghilangan oksigen yang terdapat di dalam air pengisi. Oksigen tersebut adalah unsur yang bersifat korosi yang dapat merusak pipa-pipa ketel.

7. Pompa Air Pengisi (*Boiler Feet Pump*)

Fungsi dari *Boiler Feet Pump* adalah memindahkan air dari tangki air pengisi ke ketel dengan tahanan yang cukup. Umumnya pompa ini terdiri dari beberapa tingkat pompa sentrifugal yang digerakkan oleh motor listrik atau turbin.

8. Ketel Uap (*Boiler*)

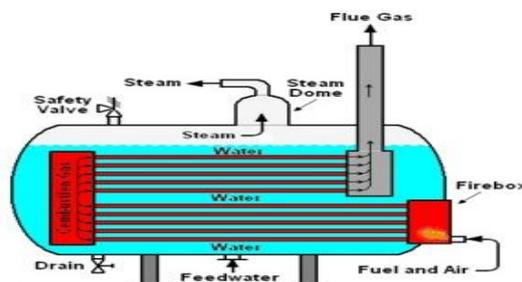
Ketel uap (*Boiler*) adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, *boiler* memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Bejana bertekanan pada *boiler* umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (*The ASME Code Boilers*), terutama untuk penggunaan *boiler* pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material digunakan sebagai bahan pembuatan *boiler* seperti tembaga, kuningan, dan besi cor. Namun bahan-bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industri. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam *boiler* berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi, dan gas. Dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai sumber panas pada *boiler*. Dan berikut adalah beberapa jenis *boiler*:

a. *Pot Boiler* atau *Haycock Boiler*

Merupakan *boiler* dengan desain paling sederhana dalam sejarah. Mulai diperkenalkan pada abad ke 18, dengan menggunakan volume air besar tapi hanya bisa memproduksi pada tekanan rendah. *Boiler* ini menggunakan bahan bakar kayu dan batubara. *Boiler* jenis ini tidak bertahan lama penggunaannya karena efisiensinya yang sangat rendah.

b. *Fire-Tube Boiler (Boiler Pipa-Api)*

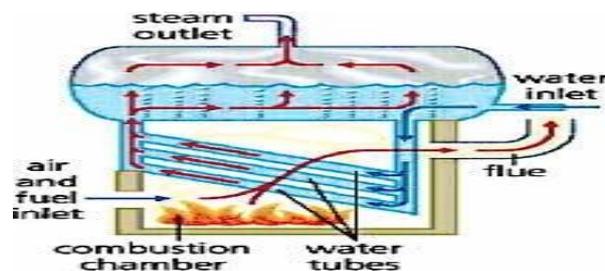
Pada perkembangan selanjutnya muncul desain baru *boiler* yakni *boiler* pipa-api. *Boiler* ini terdapat dua bagian di dalamnya, yaitu sisi *tube*/pipa dan sisi *barrel*/tong. Pada sisi *barrel* berisi fluida/air, sedangkan sisi pipa merupakan tempat terjadinya pembakaran. *Boiler* pipa-api biasanya memiliki kecepatan produksi uap air yang rendah, tetapi memiliki cadangan uap air yang lebih besar.



Gambar 2.9 *Boiler* Pipa Api

c. *Water-Tube Boiler (Boiler Pipa-Air)*

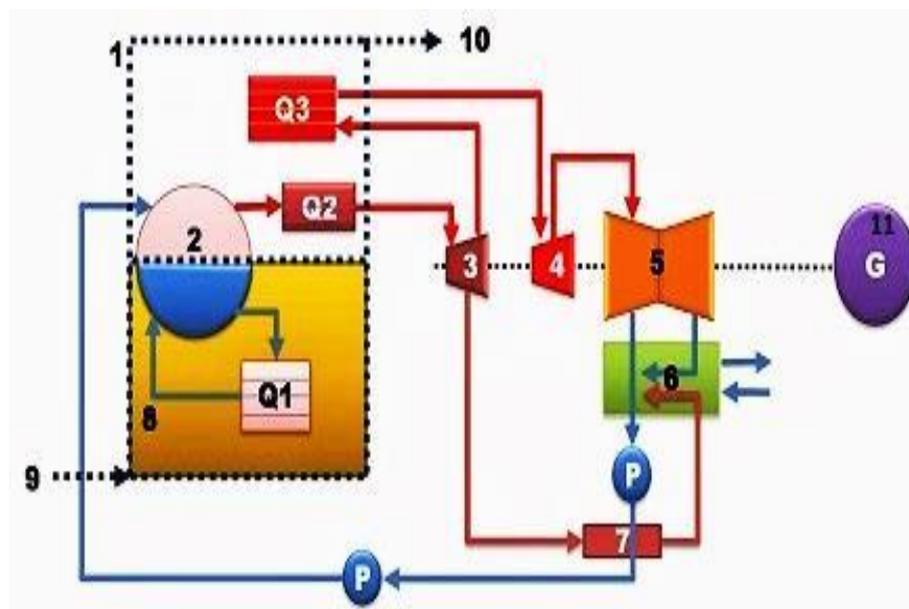
Sama seperti *boiler* pipa-api, boiler pipa-air juga terdiri atas bagian pipa dan *barrel*. Tetapi sisi pipa diisi oleh air sedangkan sisi *barrel* menjadi tempat terjadinya proses pembakaran. *Boiler* jenis ini memiliki kecepatan yang tinggi dalam memproduksi uap air, tetapi tidak banyak memiliki cadangan uap air di dalamnya.



Gambar 2.10 *Boiler* Pipa Air

d. Kombinasi *Boiler* Pipa-Api dengan Pipa-Air *Firebox*

Boiler jenis ini merupakan kombinasi antara *boiler* pipa-api dengan pipa-air. Sebuah *firebox* didalamnya terdapat pipa-pipa berisi air, uap air yang dihasilkan mengalir ke dalam *barrel* dengan pipa-api didalamnya. *Boiler* jenis ini diaplikasikan pada beberapa kereta uap, namun tidak terlalu populer dipergunakan.



Gambar 2.11 Blok Komponen Utama PLTU

Keterangan:

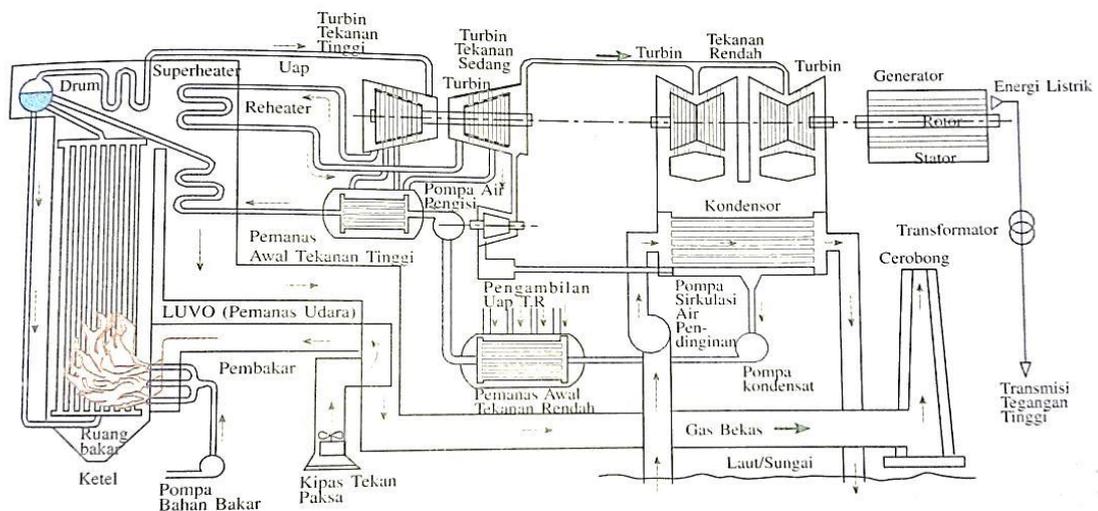
- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Boiler | 8. Pembekaran Bahan Bakar |
| 2. Drum | 9. Udara Masuk |
| 3. Turbin Tekanan Tinggi | 10. Gas Buang |
| 4. Turbin Tekanan Menengah | 11. Generator |
| 5. Turbin Tekanan Rendah | P. Pompa |
| 6. Kondensor | Q1. Pipa - pipa boiler, |
| 7. Pemanas Awal (Economizer) | Q2. Super Heater |
| | Q3. Pemanas Ulang |

2.5.2 Prinsip Kerja PLTU

Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu system tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengondensasian di kondensor dan air *make up water* (air yang dimurnikan di *treatment*) dipompa oleh *condensate pump* ke pemanas tekanan rendah (*low pressure heater*). Air dipanasi kemudian dimasukkan ke *deaerator* untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh *boiler feedwater pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa *down comer* untuk dipanaskan pada *wall tubes* oleh *boiler*.

Gambar 2.12 Menggambarkan siklus uap dan air yang berlangsung dalam PLTU, yang dayanya relatif besar di atas 200 MW. Untuk PLTU ukuran ini, PLTU umumnya memiliki pemanas ulang dan pemanas awal serta mempunyai tiga turbin, yaitu turbin tekanan tinggi, turbin tekanan menengah, dan turbin tekanan rendah. Siklus yang digambarkan oleh Gambar 2.12 telah disederhanakan, yaitu bagian yang menggambarkan sirkuit pengolahan air untuk suplesi dihilangkan untuk penyederhanaan. Suplesi air ini diperlukan karena adanya kebocoran uap pada sambungan-sambungan pipa uap dan adanya *blow down* air dari drum ketel. Air yang dipompakan ke dalam drum dan selanjutnya ke pipa-pipa air yang merupakan dinding yang mengelilingi ruang bakar ketel. Ke dalam ruang bakar ketel disemprotkan bahan bakar dan udara pembakaran. Bahan bakar yang dicampur udara ini dinyalakan dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran dalam ruang bakar. Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (kalori). Energi panas hasil pembakaran ini dipindahkan ke air yang ada dalam

pipa air ketel melalui proses radiasi, konduksi, dan konveksi. Untuk setiap macam bahan bakar, komposisi perpindahan panas berbeda, misalnya bahan bakar minyak paling banyak memindahkan kalori hasil pembakarannya melalui radiasi dibandingkan bahan bakar lainnya. Untuk melaksanakan pembakaran diperlukan oksigen yang diambil dari udara. Oleh karena itu, diperlukan pasokan udara yang cukup ke dalam ruang bakar. Untuk keperluan memasok udara ke ruang bakar, ada kipas (*ventilator*) tekan dan kipas isap yang dipasang masing-masing pada ujung masuk udara ke ruang bakar dan pada ujung keluar udara dari ruang bakar. Gas hasil pembakaran dalam ruang bakar setelah diberi “kesempatan” memindahkan energi panasnya ke air yang ada di dalam pipa air ketel, dialirkan melalui saluran pembuangan gas buang untuk selanjutnya dibuang ke udara melalui cerobong. Gas buang sisa pembakaran ini masih mengandung banyak energi panas karena tidak semua energi panasnya dapat dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel. Gas buang yang masih mempunyai suhu di atas 400°C ini dimanfaatkan untuk memanasi (lihat Gambar 2.12).



Gambar 2.12 Prinsip Kerja PLTU

2.5.3 Bahan Bakar PLTU

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (*kalor*). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (*boiler*) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap.

Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, *handling*, polusi dan peletakan *boiler*, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. Pengetahuan mengenai sifat bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien. Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Jadi untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 (tiga) unsur, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Oksigen
3. Suhu untuk memulai pembakaran

Panas (*kalor*) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai bakar (*heating value*). Sesuai dengan nama pembangkitnya, PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi bahan bakar seperti minyak residu, batu bara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang.

Dalam PLTU, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), atau gas. Ada kalanya PLTU menggunakan kombinasi beberapa macam bahan bakar. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam

PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator (Djiteng Marsudi, 2005). Secara skematis, proses di atas digambarkan oleh Gambar 2.12.

2.6 Ketel Uap (*Boiler*) Pada Pabrik Kelapa Sawit

Dalam pabrik kelapa sawit ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah air menjadi uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap.

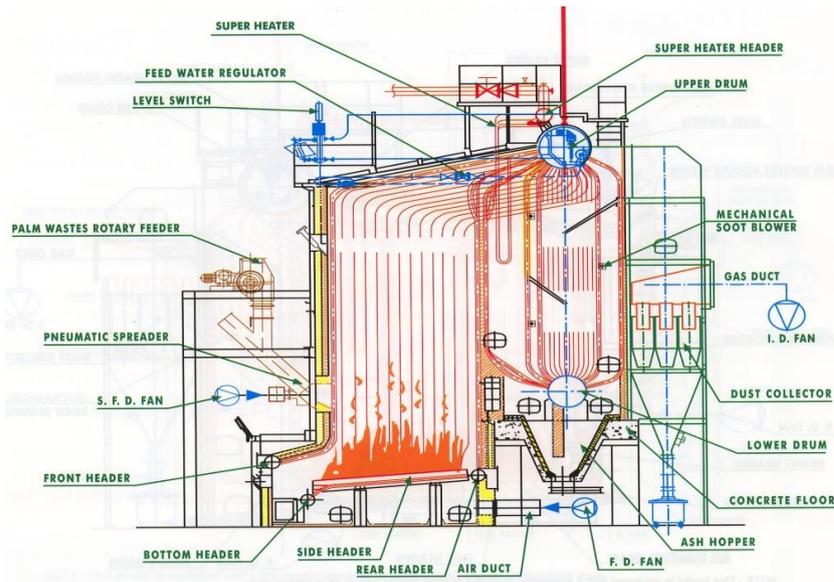
Uap (energi kalor) yang dihasilkan ketel uap dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap di pabrik kelapa sawit, terutama turbin. Turbin disini adalah turbin uap dimana sumber penggerak generatornya adalah uap yang dihasilkan dari ketel uap. Selain turbin, alat lain di pabrik kelapa sawit yang membutuhkan uap seperti di *sterilizer* (alat untuk memasak TBS) dan stasiun pemurnian minyak (klarifikasi). Oleh karena itu kualitas uap yang dihasilkan harus sesuai dengan kebutuhan yang ada di pabrik kelapa sawit tersebut, karena jika tidak akan mengganggu proses pengolahan dipabrik kelapa sawit.

Ketel uap (*boiler*) yang digunakan di pabrik kelapa sawit biasanya adalah ketel uap (*boiler*) dengan kapasitas uap 20.000 kg uap/jam dan dengan tekanan 20 kg/cm². Dimana dibutuhkan 2 unit *boiler* untuk pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah 45 ton TBS/jam. Sebagian besar ketel uap yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel uap yang menghasilkan uap *superheated*, dimana uap ini digunakan pertama kali untuk memutar turbin sebagai pembangkit tenaga listrik kemudian sisa uap dari pembangkit tersebut digunakan sebagai pemanasan TBS pada *sterilizer*. Menurut jenisnya ketel uap terbagi menjadi 2 bagian yaitu, ketel pipa air dan ketel pipa api. Ketel yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel pipa air, maksudnya adalah air berada didalam pipa dipanaskan oleh api yang berada diluar pipa air. Untuk menghitung kapasitas uap pada ketel uap yang dibutuhkan adalah dengan :

1. Kebutuhan uap pada pabrik kelapa sawit adalah 0,6 ton uap/ton TBS.
2. Jadi untuk pabrik 45 ton membutuhkan *boiler* = 45 ton x 0,6 = 27 ton uap/jam.

Karena itu dibutuhkan 2 unit ketel uap dengan kapasitas uap 20 ton uap/jam pada masing-masing ketel uap. Biasanya *boiler* yang digunakan di pabrik kelapa sawit memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Kapasita Uap : 20 Ton/jam
2. Temperatur Uap : 280°C
3. Tekanan Uap : 20 kg/cm²
4. Temperatur air umpan : 90°C
5. Effisiensi Ketel Uap : 75%
6. Pemakaian bahan bakar : 75% serabut dan 25% cangkang



Gambar 2.13 *Boiler* dan Sirkulasi Air Pada Pipa Ketel Uap Yang Digunakan di Pabrik Kelapa Sawit

2.6.1 Bagian Utama Pada *Boiler*

Boiler merupakan unit plant yang penting di industri, berfungsi mengubah air pada fasa cair ke fasa uap hingga dihasilkan uap kering yang digunakan untuk memutar turbin. Pada *boiler* terdapat beberapa alat/bagian utama. Adapun bagian-bagian utama *boiler* pada pabrik kelapa sawit adalah sebagai berikut:

1. Ruang Bakar (*dapur/furnace*)

Sebagai tempat pembakaran bahan bakar (*cangkang dan serabut*) untuk menghasilkan gas panas. Yang memiliki lantai (*fire gratee*) berupa susunan roster yang dibuka tutup dengan *pneumatic* atau model *fixed grate* mempunyai lubang-lubang (*deashing nozzle*) untuk tempat lewatnya udara pembakaran dari *Forced Draft Fan* (FD Fan). Lubang tidak boleh tumpat agar pembakaran dapat sempurna yang dilengkapi *firing door* pada bagian depan yang berfungsi untuk :

- a. Mengatur proses pembakaran
- b. Pengeluaran abu, gumpalan kerak sisa-sisa pembakaran
- c. Jalan masuk untuk inspeksi dan perawatan

Ruang bakar dikelilingi oleh tube-tube air (*water wall*) yang akan menyerap panas untuk produksi steam.

2. Drum Atas (*Upper Drum*)

Material drum biasanya terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran (*chrome, vanadium, molybdenum*) untuk menghindari *elongation* yang berlebihan.

Fungsi dari drum ini adalah:

- a. Menampung air umpan untuk didistribusikan ke pipa air pembangkit *steam*.
- b. Menampung uap dari pipa pembangkit dan setelah uap dan titik air dipisahkan pada drum selanjutnya uap dialirkan ke *header* uap untuk didistribusikan ke turbin.

3. Header Air Umpan

Merupakan bejana baja berbentuk silinder dipasang di sekeliling dapur dan dibawah *fire grade* pada dinding depan *boiler*. Berfungsi untuk menampung air umpan dan selanjutnya didistribusikan ke pipa air pembangkit uap (*water wall*).

Header dilengkapi dengan:

- a. *Hand Hole* untuk inspeksi dan perawatan.
- b. Pipa *Drain* untuk pembersihan kotoran-kotoran yang terakumulasi di *header-Blow Down*.

4. Header Uap

Header uap berfungsi sebagai penampung uap dari pipa air pembangkit uap dan selanjutnya mendistribusikan ke drum uap (drum atas). Biasanya berbentuk bejana silinder, tetapi ada juga yang berbentuk persegi empat.

5. Tube Air Pembangkit Uap (*Generating Bank*)

Generating bank berfungsi mengubah air menjadi uap dengan pemanasan gas panas dari dapur/*furnace*. *Tube* air pembangkit uap dipasang di sekeliling ruang dapur (*water wall*) dan di atas ruang dapur. Untuk menambah kapasitas uap, *tube* air pembangkit uap ini juga dipasang di bagian sebelah belakang dapur. Susunan pemasangan *tube* di desain untuk dapat menerima panas semaksimal mungkin.

6. Pipa Air Turun (*Downcomer Pipe*)

Pipa ini tidak mendapatkan pemanasan dari gas panas. Pipa memiliki fungsi untuk mengalirkan umpan *boiler* dari :

- a. Drum atas ke *header* (*mechmar boiler*).
- b. Drum atas ke drum bawah (*takuma boiler*).
- c. Drum bawah ke *header* (*takuma boiler*).

7. Tube Superheater

Berfungsi untuk menaikkan temperatur uap kering (*satured steam*) sampai temperatur uap *superheat* (280°C – 300°C). *Tube superheater* berisi uap yang berasal dari drum atas lalu dipanaskan gas panas dan selanjutnya didistribusikan

ke *header* uap untuk seterusnya digunakan oleh turbin. Biasanya berbelok-belok yang mana ujung awal dihubungkan dengan uap drum atas sedang ujungnya berhubungan dengan *header steam*. Material pipa terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran *molybdenum*.

8. Multicyclone Dust Collector

Berfungsi untuk menangkap abu yang terbawa gas panas agar tidak langsung terbang ke udara. Terdiri dari susunan *cone* yang akan menangkap abu berdasarkan prinsip gaya sentrifugal dimana abu yang lebih berat akan jatuh ke bawah dan gas panas akan dibuang ke cerobong. Abu yang ditangkap akan turun ke *hopper* dan penurunan ke bak penampung diatur oleh *rotary valve*.

9. Cerobong Asap (*Chimney*)

Berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran dan menurunkan temperatur gas panas dari dapur (1000°C) tersebut sebelum dibuang ke udara ($250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$).

10. Ekonomiser

Berfungsi untuk menaikkan temperatur air umpan dengan memanfaatkan sisa gas panas yang dialirkan melalui *exchanger* dan air umpan *boiler* dialirkan melalui peralatan ini. Keuntungan dari ekonomiser adalah:

- a. Mengurangi tegangan pada *boiler* pada saat air umpan dimasukkan (mengurangi perbedaan temperatur air umpan dengan air pada drum *boiler*).

- b. Meningkatkan efisiensi *boiler*.
- c. Pemakaian bahan bakar yang lebih efisien.

11. Pemanas Udara (*Air Heater*)

Berfungsi untuk menaikkan temperatur pembakaran pada dapur *boiler*. Sisa gas panas dari ekonomiser kemudian dilakukan lagi melalui *heat exchanger* (penukar panas) yang dipasangkan pada *ducting force draft fan* (FD Fan) untuk menaikkan temperatur udara pembakaran yang dihembuskan pada dapur.

12. Insulasi/*Refractory*

Berfungsi untuk mengurangi panas yang hilang yang disebabkan tingginya temperatur pada dapur boiler ($\pm 1200^{\circ}\text{C}$) serta menjaga keamanan lingkungan dan efisiensi *boiler*. Material *refractory* terbuat dari bahan *castable/ramable* digunakan diantara pipa dan dikunci/dikuatkan dengan stud.

13. Peralatan Pemisah Air dan Uap

Berfungsi untuk memisahkan butir-butir air yang masih terbawa oleh uap saat memasuki drum bagian atas yang terletak pada bagian dalam drum. Ada beberapa tipe yang umum digunakan:

a. *Dry Pipe*

Uap masuk secara tangensial, karena air lebih berat dari uap, pemisahan terjadi oleh gaya sentrifugal.

b. *Chevron Drier*

Saat *steam* masuk, air yang terikut akan mengenai plate beralur dan mengalir ke bawah.

c. *Cyclone Separator*

Uap dimasukkan ke beberapa *cyclone* secara tangensial sehingga akibat kecepatan aliran air terpisah disebabkan oleh gaya sentrifugal.

2.6.2 Bahan Bakar Ketel Uap (*Boiler*)

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan/dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna didalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

- a. Perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan serabut)
- b. Udara yang dipakai harus mencukupi.
- c. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
- d. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran.
- e. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api.

Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah serabut dan cangkang, adapun alasan mengapa digunakan serabut dan cangkang sebagai bahan bakar adalah:

- a) Bahan bakar cangkang dan serabut cukup tersedia dan mudah diperoleh dipabrik.
- b) Harga lebih ekonomis.

- c) Cangkang dan serabut merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit apabila tidak digunakan.
- d) Nilai kalor bahan bakar cangkang dan serabut memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
- e) Sisa pembakaran bahan bakar dapat digunakan serbagai pupuk untuk tanaman kelapa sawit.

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain : Carbon (C), Hidrogen (H₂), Nitrogen (N₂), Oksigen (O₂) dan Abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya., bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar. Apabila pemakaian cangkang ini terlalu banyak dari serabut akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah.karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar.

Serabut adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung. Panas yang dihasilkan serabut jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu

perbandingan lebih besar serabut dari pada cangkang. disamping serabut lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian serabut yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, disamping mempersulit pembuangan dari pintu *ekspansion door* (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan.



Gambar 2.14 Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit

2.7 Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit

Untuk memperoleh energi listrik terdapat tahapan-tahapan dari sumber bahan bakar menjadi energi listrik. Dari Gambar 2.15 terlihat bahwa cangkang dan serabut dimasukkan ke dalam ruang bakar digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan ketel uap sehingga menghasilkan uap yang betekanan tinggi.

Ketel uap yang digunakan dalam proses pembakaran limbah ini adalah tipe khusus yang menggunakan sistem *grate*. Berbeda dengan bahan bakar lain yang tidak menggunakan sistem *grate*. Cangkang dan serabut ini dalam penggunaannya menggunakan 25% cangkang dan serabut 75%, hal ini dikarenakan spesifikasi

2.8 Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit

Proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO melalui beberapa tahapan yang memerlukan konsumsi energi listrik. Semakin besar kapasitas produksi, kompleksitas proses dan automation, konsumsi energi listrik yang di perlukan semakin tinggi. Parameter umum konsumsi energi listrik (*power consumption*) di pabrik pengolahan kelapa sawit yakni sebesar 17 - 19 kWh/ton TBS.

Penggunaan konsumsi energi listrik yang tinggi otomatis mempengaruhi biaya operasional yang semakin tinggi. Bila biaya operasional terhadap pemenuhan energi listrik yang tinggi lantas tidak diimbangi dengan peningkatan produksi dan kapasitas pabrik, maka bakal menimbulkan kerugian yang besar. Oleh karenanya perlu dilakukan upaya guna mengidentifikasi penyebab tingginya penggunaan energi listrik di PKS. Dampak dari nilai konsumsi listrik yang diatas standar bisa mengindikasikan adanya pemborosan energi atau penggunaan beban yang besar, tetapi perlu pula ditinjau terlebih dahulu dari pembebanan yang ada, selain itu konsumsi listrik yang tinggi bisa menyebabkan tingginya biaya operasional jika penyumbang energi listrik banyak ditanggung dari generator.

1. Penyediaan Energi (*Power Plant*)

Idealnya pabrik kelapa sawit mampu mandiri memenuhi kebutuhan energinya. Limbah serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sawit digunakan untuk bahan bakar *boiler* sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik juga sumber uap untuk proses perebusan dan pengolahan.

Sumber energi yang terpasang pada parik kelapa sawit kapasitas 30 ton per jam adalah 2 (dua) buah genset 400 kW, 1 (satu) buah genset 200 kW dan 1 (satu) buah steam turbin generator 1200 kW yang dapat beroperasi secara bergantian maupun bersama-sama. Genset dengan kapasitas 200 kW dioperasikan untuk mensuplay kebutuhan domestik dan penerangan ketika pabrik dalam kondisi belum aktif dan turbin belum bisa bekerja. Genset dengan kapasitas 2 x 400 kW dioperasikan untuk penyalaan dan proses pertama pabrik hingga pabrik menghasilkan *fiber* dan *shell* untuk bahan bakar *boiler* dan *boiler* mampu menghasilkan *steam* dengan kapasitas yang diharapkan untuk menggerakkan steam turbin hingga menghasilkan energi listrik secara *continue*.

Turbin dapat beroperasi normal jika tekanan steam berkisar 18 – 21 bar. Jika tekanan kerja *boiler* menunjukkan tren penurunan hingga 15 bar maka turbin tidak mampu di bebani untuk proses pabrik dan akan terjadi *trip* sehingga untuk menjaga proses tidak berhenti secara mendadak, maka operator *engine room* segera mengaktifkan genset 400 kw untuk di sinkron dengan turbin.

Jika keadaan ini sering terjadi konsekuensinya adalah naiknya biaya operasional akibat pemakaian solar dan menambah kecapekan operator *boiler* karena harus segera menyekrop bahan bakar ke dalam tungku *boiler* untuk meningkatkan panas pembakaran dan meningkatkan kembali tekanan steam yang seharusnya cukup di supplay dari *fuel feedeng konveyor*.

2. Sistem Distribusi (*Distribution System*)

System distribusi tenaga listrik pada pabrik kelapa sawit digambarkan secara sederhana dengan mengirimkan sumber *power* yaitu genset dan turbin pada *Main Switchboard*. *Main Switchboard* ini terhubung menjadi satu dengan *Main*

Distribution Board yang dilengkapi dengan pengaman berupa OCR, UVR, EFR, RPR dan peralatan sinkron dan *switching* dan juga kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya. Kemudian melalui *Main Distribution Board* (MDB) akan di distribusikan menuju *Motor Control Centre* (MCC) dan *Sub Distribution Board* (SDB) pada masing - masing stasiun proses untuk kemudian mensuplay listrik pada beban berupa *gear motor*, pompa, *fan*. untuk beban penerangan, *Office* dan *domestic* akan di *supplay* dari *Sub Distribution Board* (SDB). Untuk beban yang letaknya jauh dari sumber yaitu *Raw Water Pump* dan *Effluent Treatment Plant*, *drop voltage* tegangan lebih dari 5% maka dipasang trafo *Step-Up* dan *Step-Down* untuk perbaikan tegangan.

3. Konsumsi Energi (*Power Consumption*)

Untuk mengetahui karakteristik dan pemakaian beban listrik dapat dibaca dengan alat ukur yang terpasang dipanel kamar mesin berupa kW-meter dan amperemeter. Sedangkan energi listrik yang terpakai terukur melalui kWh-meter yang terdapat dipanel masing-masing pembangkit. Beban bakal mengalami fluktuasi dan menyesuaikan kebutuhan daya terhadap mesin atau listrik yang digunakan masing-masing unit. Penggunaan daya listrik untuk proses pengolahan lebih dominan sebesar 77,62%. Beban domestik menempati urutan kedua mencapai 16,75%. Sedangkan beban lain berupa *head office*, kantor PKS, *Workshop* KB, dan penerangan jalan memiliki nilai yang kecil berkisar 0,5 - 3%. Sehingga penggunaan untuk beban ini tidak terlalu berpengaruh besar terhadap daya yang ditanggung terhadap pembangkit. Beban listrik untuk domestik cukup besar dalam menyumbang penggunaan daya listrik. Penggunaan daya listrik dari

beban domestik ini ditanggung oleh PKS sehingga perhitungan konsumsi energi listrik terhadap kWh/ton TBS juga akan terpengaruh.

Kondisi pabrik, dalam keadaan mengolah dengan menggunakan operasional 2 line. Untuk beban *Head Office*, *Workshop* Kantor Besar, *Office* DB (PKS), *Oil storage*, *Workshop* DB (PKS), daya tidak secara terus menerus terhadap beban yang digunakan selama proses pengolahan berlangsung. Pada kondisi aktual untuk beban domestik, tingginya penggunaan listrik tercatat rata-rata pada pukul 17.30 - 21.00. Ini terjadi lantaran waktu tersebut adalah waktu istirahat dan kebanyakan masyarakat cenderung menggunakan listrik guna menyalakan lampu rumah, menonton televisi atau perangkat lain yang membutuhkan listrik. Sedangkan untuk proses pengolahan di pabrik kondisi operasional tetap stabil. Adapun perbedaan daya listrik di pabrik digunakan untuk beban lampu penerangan. Pengaman pada panel domestik digunakan untuk memenuhi beban seluruh domestik. Saat satu jalur distribusi listrik dilakukan terhadap kantor dan perumahan, otomatis panel domestik tidak boleh dimatikan.

Asumsi untuk beban domestik jika kebutuhan daya listrik untuk kantor tetap, sedangkan untuk beban perumahan dimatikan maka memberikan pengaruh terhadap konsumsi aktual. Asumsi ini tidak terikat terhadap penerapan waktu jika listrik perumahan dimatikan karena penggunaan listrik di PKS untuk domestik selama 24 jam. Dan asumsi ini bisa diterapkan jika hanya jalur distribusi listrik atau pengaman untuk perumahan dan kantor dipisahkan.

4. Analisis Energi Listrik

Energi merupakan hal yang terpenting dalam suatu industri, termasuk industri pertanian. Dalam kegiatan usaha industri diperlukan input produksi pada

tiap-tiap tahapan proses. Input produksi ini dapat dikonversi ke dalam bentuk satuan energi, yaitu energi langsung, energi tak langsung (*embodied energy*), dan energi manusia. Bentuk energi langsung adalah bahan bakar fosil, seperti bensin, minyak diesel, minyak tanah, LPG, dan energi listrik. Sedangkan bentuk energi tidak langsung adalah energi yang dibutuhkan untuk memproduksi bibit tanaman, pupuk, pestisida, bahan-bahan lainnya yang berhubungan dengan proses produksi untuk memproduksi peralatan dan mesin.

Energi yang sering digunakan dalam bidang industri adalah energi listrik. Hal ini dikarenakan energi listrik memiliki keunggulan sebagai berikut :

- a) Efisiensi tinggi.
- b) Peralatan penggerak lebih kecil.
- c) Mudah dalam instalasinya.
- d) Putaran lebih mudah diatur.

Analisis energi listrik bertujuan untuk menghitung nilai energi listrik yang digunakan dalam setiap tahap di dalam suatu sistem produksi secara keseluruhan. Analisis tersebut dapat digunakan untuk memahami dan memperbaiki bagaimana, dimana, dan bila energi listrik digunakan secara efektif dan efisiensi.

Pelaksanaan metode analisis proses di pabrik kelapa sawit mencakup analisis energi listrik keseluruhan yaitu sejak penerimaan bahan baku hingga proses pengolahan atau sejak proses penerimaan tandan buah segar (TBS) di pabrik hingga proses pengolahan minyak sawit (CPO). Dengan analisis ini diharapkan akan mendapat gambaran seberapa jauh pemakaian energi listrik per kilogram *output* (intensitas energi). selain itu, analisis proses akan dapat memberikan aliran energi listrik berdasarkan tahapan proses, sehingga

memungkinkan untuk mengetahui adanya pemborosan energi listrik pada tahap tertentu. Hal ini sangat penting dalam membantu usaha penghematan energi listrik dan menghasilkan proses produksi yang hemat energi listrik.

Secara umum energi listrik didekati dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$EL = \frac{P \times Efm \times Pf \times 3600}{M}$$

Dimana :

- EL = Energi listrik yang digunakan (kJ/kg)
- P = Daya peralatan/motor (kW)
- Efm = Faktor Efisiensi (%)
- Pf = Faktor Daya (%)
- M = Kapasitas produksi (kg/jam)

Sedangkan untuk menghitung daya listrik (fasa tiga) digunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

- P = Daya listrik (kW)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)
- cos φ = Faktor daya

2.9 Proses Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

Pengolahan tandan buah segar (TBS) sampai diperoleh minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*, CPO) dan inti sawit dilaksanakan melalui proses yang cukup

panjang. Dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, proses pengolahan kelapa sawit terus disempurnakan baik dengan meningkatkan mutu bahan baku maupun proses pengolahan pabrik.

Proses terciptanya TBS dimulai dari pembibitan, pemulihan bibit kelapa sawit, pemanenan, dan pengangkutan sangat mempengaruhi mutu yang dihasilkan di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Agar memperoleh hasil panen yang baik maka diperlukan proses pengolahan TBS di (PKS) yang baik juga untuk menekan penurunan mutu dan kehilangan (*losses*) selama proses berlangsung. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memiliki kapasitas produksi sebesar 30 ton TBS/jam.

Proses pengolahan kelapa sawit melewati beberapa tahap agar diperoleh minyak sawit berkualitas baik. Tahap-tahap tersebut meliputi beberapa stasiun yaitu:

1. Stasiun Penimbangan (*Weight Bridge*).
2. Stasiun Penerimaan Buah (*Fruit Reception Station*).
3. Stasiun Perebusan (*Sterilizer Station*).
4. Stasiun Penebah (*Threshing Station*).
5. Stasiun Kempa (*Pressing Station*).
6. Stasiun Pemurnian Minyak (*Clarification Station*).
7. Stasiun Pengolahan Biji (*Nut Plant Station*).

Sedangkan untuk pendukung pengolahan TBS menjadi CPO ada beberapa stasiun yang digunakan, yaitu:

1. Stasiun Ketel Uap (*Boiler*).
2. Stasiun Kamar Mesin (*Power House*).
3. Stasiun Pengolahan Air (*Water Treatment & Demin Plant*).

2.9.1 Stasiun Penimbangan (*Weight Bridge*)

Tandan buah segar yang tiba di PKS diarahkan menuju proses awal pengolahan kelapa sawit dimulai dari stasiun timbangan. Stasiun timbangan di gunakan untuk penimbangan TBS yang di angkut menggunakan mobil angkut (truk), penimbangan diawali dengan menimbang bobot keseluruhan kendaraan dan TBS kemudian ditimbang kembali truk pengangkut setekah di kosongkan dari muatan TBS, penimbangan barang lain yang terkait dengan aktifitas pabrik seperti penimbangan (*kernel*) dan tankos (tandan kosong). Jembatan penimbangan yang terdapat di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina menggunakan tipe *Hybrid System* dengan kapasitas maksimum 50 ton. Jembatan ini memiliki panjang 12000 mm dan lebar 3000 mm serta ketelitian pengukuran yang diizinkan sebesar 10 kg.

Proses penimbangan pada (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina menggunakan 2 sistem yaitu sistem digital dan sistem manual. Prinsip kerja digital menggunakan alat bantu komputer yang terhubung dengan sensor yang terdapat di bawah landasan (permukaan) timbangan, kemudian hasil penimbangan akan muncul secara otomatis pada layar komputer dan akan dihubungkan secara langsung ke kantor pusat dengan menggunakan system LAN (*Local Areal Network*). Sedangkan prinsip kerja pada system manual menggunakan alat timbangan yang dioperasikan secara manual oleh operator. Timbangan manual hanya digunakan jika tidak terdapat arus listrik untuk timbangan sistem digital atau saat kondisi cuaca dalam keadaan hujan.

Pada saat melakukan proses penimbangan, setiap truk yang mengangkut TBS ke pabrik akan ditimbang sebagai *Bruto* dan setelah dikeluarkan TBS di *Loading Ramp* (Penimbunan Buah) sebagai *Tarra*. Buah yang tidak sesuai norma

(hasil sortasi) (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina akan dimasukkan kembali ke dalam truk dan juga akan dihitung sebagai *Tarra*.

Sedangkan pada penimbangan truk tangki CPO, sebelum melakukan penimbangan mandor melakukan pemeriksaan pada setiap truk tangki CPO. Kelengkapan standar yakni satu unit ban cadangan, dongkrak, dan kunci roda boleh tidak diturunkan saat penimbangan, tetapi pengganjal ban dan lain-lain termasuk supir tidak boleh berada di dalam truk. Hal ini dilakukan agar berat yang ditimbang tidak bertambah.

Untuk berat bersih TBS yang masuk dihitung dengan rumus:

$$\text{Netto} = \text{Brutto} - \text{Tarra}$$



Gambar 2.16 Stasiun Penimbangan (*Weight Bridge*)

2.9.2 Stasiun Penerimaan Buah (*Fruit Reception Station*)

Stasiun penerimaan buah adalah proses pengolahan buah kelapa sawit dimulai dari penimbangan buah sampai dengan pemindahan buah ke lori rebusan.

Tahapan prosesnya antara lain :

- 1) Proses Penimbangan Buah (*Weight Bridge*).
- 2) Proses Penimbunan dan Pemindahan Buah (*Loading Ramp*).
- 3) Lori Rebusan (*Boogies and Cages*) dan *Transfer Carriage*.

Transfer Ramp adalah tempat penerimaan tandan buah segar (TBS) dimana sebelumnya truk pengangkut telah melalui jembatan timbang, sehingga diketahui berat bruto tandan buah segar yang masuk ke pabrik. Selain untuk penerimaan TBS, tempat ini juga berfungsi tempat mencurahkan TBS ke dalam lori rebusan. Karena berfungsi sebagai pencurah ke lori rebusan, maka disebut juga sebagai *loading ramp*. Sortasi dilakukan di tempat ini pula sesuai ketentuan yang telah ditetapkan oleh bagian pengendalian mutu.

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mempunyai 1 *loading ramp* dengan 15 pintu berkapasitas 15 ton TBS. Kapasitas total kompartemen minimum = 40 % x kapasitas pabrik x 20 jam. Untuk ketahanan kisi-kisi *loading ramp*, bagian atas (tempat jatuhnya buah) sepanjang *loading ramp* dilapisi plat besi dengan lebar 2 meter. Hal ini disesuaikan dengan rata-rata jatuhnya buah dari bak truk ke kompartemen $\pm 1,7$ meter. Kemiringan lantai *loading ramp* 270° terhadap bidang datar dan setiap pintu kompartemen menggunakan pintu tegak lurus (vertikal) yang digerakkan oleh *hidrolik* untuk membuka atau menutup dengan *power pack* penggerak sistem *hidrolik* 1 unit berdaya 7,5 HP.

Pengisian yang baik jika lori dapat memuat TBS sebanyak kapasitas normal. Pengisian yang tidak penuh akan menyebabkan penurunan kapasitas oleh *sterilizer* atau sebaliknya pengisian yang terlalu penuh akan mengakibatkan pintu, maupun pelat menjadi aus dan rusak atau buah jatuh dalam rebusan.



Gambar 2.17 Stasiun Penerimaan Buah (*Loading Ramp*)

2.9.3 Stasiun Perebusan (*Sterilizer Station*)

Stasiun rebusan adalah proses pemindahan dari lori rebusan ke *sterilizer* (rebusan), merebus buah, dan mengeluarkan serta mengangkat lori yang berisi rebusan TBS ke proses selanjutnya (Stasiun Penebah/*Thresher*). Baik buruknya mutu dan jumlah hasil olah suatu pabrik kelapa sawit, terutama ditentukan oleh keberhasilan rebusan. *Sterilizer* (rebusan) adalah bejana bertekanan yang digunakan untuk merebus buah.

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memiliki 3 unit rebusan dengan kapasitas masing-masing rebusan 25 ton (berisi 10 lori dengan kapasitas 2,5 ton TBS/lori). Namun hanya 2 (dua) unit yang dioperasikan, sedangkan 1 (satu) unit menjadi cadangan. Siklus yang dibutuhkan untuk di rebusan $\pm 90 - 95$ menit.

Maka perhitungan jumlah rebusan yang dioperasikan adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata isian lori : 2500 kg
2. Siklus merebus : 100 menit
3. Jumlah lori dalam satu rebusan : 10 buah
4. Kapasitas olah : 30 ton TBS/jam
5. Kapasitas olah dengan mengoperasikan 2 rebusan : $2 \times 10 \text{ lori} \times 2,5 \text{ ton/lori} \times 60/100 = 30 \text{ ton TBS/jam}$

Rebusan yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 2070 mm dengan panjang 27000 mm dengan sistem 2 pintu. Bagian luar bahan rebusan dilapisi dengan *glass wool* setebal 50 mm dan ditutupi dengan plat aluminium setebal 1 mm. Adapun proses perebusan bertujuan antara lain:

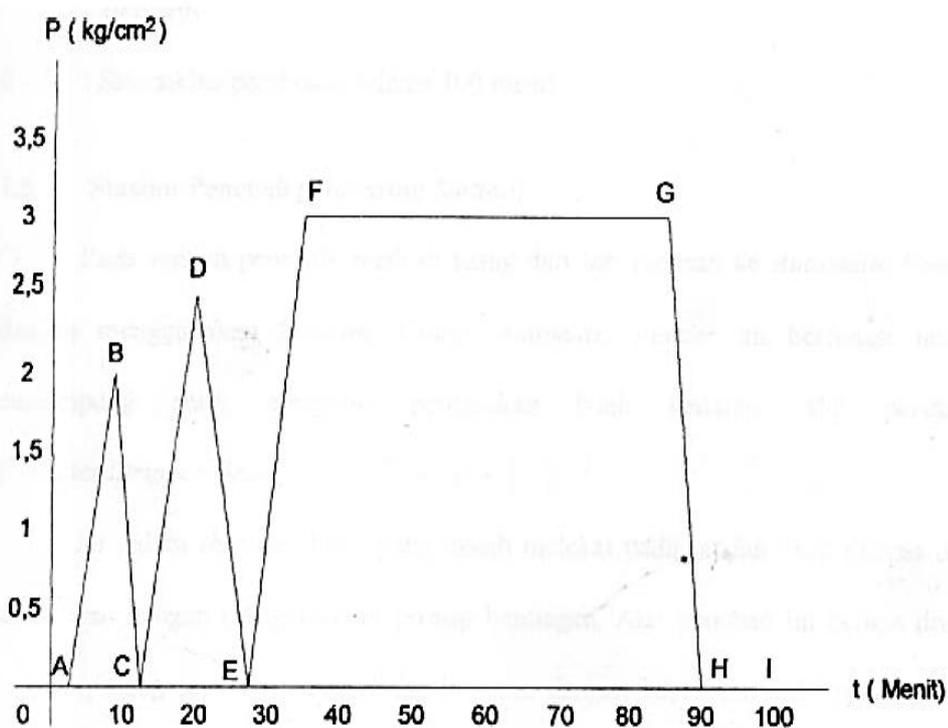
1. Mematikan aktifitas enzim.
2. Mempermudah pelepasan buah dari tandan.
3. Mempermudah pemisahan minyak dari daging buah.
4. Menurunkan kadar air dalam buah.
5. Memudahkan penguraian serabut pada biji.
6. Memisahkan antara inti dan cangkang.

Proses *sterilization* dilakukan dengan sistem perebusan tiga puncak (*Tripple Pack*). Sistem perebusan tiga puncak yaitu jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan akibat dari tindakan pemasukan uap, penahanan, dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus. Yang dimaksud dengan waktu lama perebusan adalah waktu yang dipergunakan untuk proses merebus mulai dari memasukkan uap pada puncak satu sampai dengan mengeluarkan uap (*blow up*) pada puncak ke tiga. Waktu perebusan yang terlalu lama dan terlalu cepat akan mempengaruhi warna minyak yang diperoleh. Waktu perebusan yang

terlalu cepat akan membuat *losses* minyak pada air rebusan yang bertambah buah kurang masak, sehingga brondolan sukar lepas dari tandan, proses pelumatan dalam *digester* tidak sempurna sehingga sebagian daging buah tidak lepas dari biji yang mengakibatkan *losses* minyak pada ampas dan biji bertambah, dan biji yang dihasilkan tidak bersih. Dengan menggunakan *mikrokontroler* ATMEL AT89851 yang mengatur pembuangan uap dengan waktu yang sudah ditentukan untuk mencapai tekanan yang ditentukan.

Tekanan pada sistem perebusan 3 puncak adalah:

1. Puncak Pertama : 2,0 – 2,5 kg/cm²
2. Puncak Kedua : 2,5 – 3,0 kg/cm²
3. Puncak Ketiga : ± 3,0 kg/cm²



Gambar 2.18 Grafik Perebusan Tiga Puncak

Keterangan :

0 – A : Membuang udara selama 3 menit

A – B : Pemasukan *Steam* dari tekanan 0 - 2 kg/cm² selama 8 menit

B – C : Pembuangan *Steam* dari tekanan 2 - 0 kg/cm² selama 2 menit

C – D : Pemasukan *Steam* dari tekanan 0 - 2,5 kg/cm² selama 9 menit

D – E : Pembuangan *Steam* dari tekanan 2,5 - 0 kg/cm² selama 2 menit

E – F : Pemasukan *Steam* dari tekanan 0 - 3 kg/cm² selama 12 menit

F – G : Menahan tekanan *Steam* tetap 3 kg/cm² selama 45 menit

G – H : Pembuangan *Steam* tetap dari tekanan 3 - 0 kg/cm²

H – I : Mengeluarkan buah masak & memasukkan buah mentah selama 10 menit

0 – I : Satu siklus perebusan selama 100 menit



Gambar 2.19 Stasiun Perebusan (*Sterilizer*)

2.9.4 Stasiun Penebahan (*Threshing Station*)

Stasiun penebah adalah stasiun pemisahan brondolan dengan janjangan kosong. Ketidak sempurnaan proses pengolahan pada stasiun ini akan mempengaruhi efisiensi pabrik. Keberhasilan perebusan jika tidak didukung penebahan yang baik maka kehilangan minyak akan tinggi. Oleh sebab itu perlu ditambahkan bahwa keberhasilan penebahan juga tergantung pada proses perebusan. Proses stasiun penebah terdiri-dari :

1. Pengisi Otomatis (*Automatic Feeder*).
2. Penebah (*Thresher*).
3. *Conveyor* Tandan Kosong (*Empty Bunch Conveyor*).
4. *Conveyor* Buah (*Fruit Conveyor*).
5. Timbah Buah (*Fruit Elevator*).

Tujuan dari penebahan buah adalah untuk melepaskan semua buah steril dari tandannya dan memisahkan buah yang terlepas dengan tandannya. Tandan buah segar yang telah selesai direbus dari *sterilizer* akan ditarik keluar menggunakan *capstand*. Lori-lori yang keluar dari rebusan diangkat menggunakan *hoisting crane* dan dituangkan ke *auto feeder* dengan memutar lori 360°C. Setelah dituangkan, lori kembali di letakkan menuju rel pengisian ulang TBS.

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memiliki 2 unit *Hoisting Crane* yang berkapasitas 5 ton/unit, 1 unit lagi berfungsi sebagai cadangan, memiliki 2 jenis elektromotor yaitu elektromotor naik turun dengan kapasitas 14 kW, 2560 rpm, 380 volt, dan dengan kecepatan 6 m/menit serta elektromotor maju mundur dengan kapasitas 5,7 kW, 2560 rpm, 400 volt dan kecepatan 9 m/menit . Dan memiliki 3 unit *thresher* yang berfungsi untuk menyempurnakan proses

perontokan, memiliki elektromotor dengan kapasitas 14 HP, 11 kW, 21 Amp, 380 volt, 1450 rpm dan putaran *gearbox* 24 rpm. Untuk tandan kosong sendiri didistribusikan dengan *empty bunch conveyor* untuk didistribusikan ke penampungan *empty bunch*.



Gambar 2.20 Stasiun Penebah Buah (*Threshing Station*)

2.9.5 Stasiun Kempa (*Press Station*)

Stasiun kempa adalah stasiun pertama dimulainya pengambilan minyak kasar dari buah melalui proses pelumatan dan mengempa. Baik buruknya pengoperasian peralatan ini mempengaruhi efisiensi pengutipan minyak. Pengepresan berfungsi untuk memisahkan minyak kasar (*crude oil*) dari daging buah (*pericarp*). Temperature yang digunakan dalam proses pelumatan adalah 90-95°C dengan tekanan sebesar 3,5 kg/cm². (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memiliki 3 unit *digester* yang memiliki volume sebesar 3,2 – 3,5 m³ untuk setiap

digester. Sistem kerja *digester* awalnya buah hasil penebahan akan diisi penuh sebanyak 75%, kemudian diputar selama 15 menit dan *line press* dibuka.

Dari pengepresan tersebut akan diperoleh minyak kasar dan ampas serta biji. Biji yang bercampur dengan serabut masuk ke alat *cake breaker conveyor* untuk di pisah antara biji dan seratnya, sedangkan minyak kasar dialirkan ke stasiun klarifikasi (pemurnian). Proses di Stasiun Kempa ada beberapa tahapan proses, yaitu :

1. Proses pada ketel adukan (*Digester*).
2. Proses pada kempa (*Screw Press*).
3. Pemecah ampas kempa (*Cake Breaker*).
4. Pemisah biji dan ampas (*Dipericarper*).

Berondolan yang keluar dari *thresher* jatuh ke *conveyor*, kemudian diangkat dengan *fruit elevator* ke *top cross conveyor* yang mendistribusikan berondolan ke *distributing conveyor* untuk dimasukkan dalam tiap-tiap *digester*. *Digester* adalah tangki silinder tegak yang dilengkapi pisau-pisau pengaduk dengan kecepatan putaran 25 - 26 rpm, sehingga brondolan dapat dicacah di dalam tangki ini. Bila tiap-tiap *digester* telah terisi penuh maka brondolan menuju ke *conveyor recycling*, diteruskan ke *elevator* untuk dikembalikan ke *digester*. Tujuan pelumatan adalah agar daging buah terlepas dari biji sehingga mudah di-press. Untuk memudahkan pelumatan buah, pada *digester* di *inject steam* bersuhu sekitar 90 – 95°C.

Berondolan yang telah lumat masuk ke dalam *screw press* untuk diperas sehingga dihasilkan minyak (*crude oil*). Pada proses ini dilakukan penyemprotan air panas agar minyak yang keluar tidak terlalu kental (penurunan *viscositas*)

supaya pori-pori silinder tidak tersumbat, sehingga kerja *screw press* tidak terlalu berat. Penyemprotan air dilakukan melalui *nozzle-nozzle* pada pipa berlubang yang dipasang pada *screw press*. Kapasitas mesin *screw press* yang digunakan (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina yaitu 10 – 12 ton TBS/jam. Tekanan mesin press harus diatur, karena bila tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan inti pecah dan *screw press* mudah aus. Sebaliknya, jika tekanan mesin press terlalu rendah maka *oil losses* di ampas tinggi. Minyak hasil mesin press kemudian menuju ke *sand trap tank* untuk pengendapan. Hasil lain adalah ampas (terdiri dari biji dan *fiber*), yang akan dipisahkan dengan menggunakan *cake breaker conveyor (CBC)*.



Gambar 2.21 Stasiun Kempa (*Pressing Station*)

2.9.6 Stasiun Pemurnian Minyak (*Clarification Station*)

Minyak yang berasal dari stasiun press masih banyak mengandung kotoran-kotoran yang berasal dari daging buah seperti lumpur, air dan lain-lain.

Untuk mendapatkan minyak yang memenuhi standar, maka perlu dilakukan pemurnian terhadap minyak tersebut.

Stasiun pemurnian minyak berfungsi untuk memisahkan minyak dengan kotoran serta unsur-unsur yang mengurangi kualitas minyak dan mengupayakan kehilangan minyak seminimal mungkin. Hal ini berarti terdapat prinsip-prinsip perlakuan untuk memisahkan antara minyak dan non-minyak. Agar pemisahan tersebut dapat terjadi dengan sempurna, maka proses dilakukan secara bertahap mulai dari *stand trap tank* sampai ke *vacuum dryer*. Disamping itu, *sludge* dari CST diproses melalui *sludge tank* sampai ke *decanting basin*/bak masin.

Pada stasiun ini terdiri dari beberapa unit alat pengolah untuk memurnikan minyak produksi, yang meliputi :

1. *Sand Trap Tank*
2. *Vibrating Screen*
3. *Crude Oil Tank*
4. *Continous Settling Tank (CST)*
5. *Oil Tank*
6. *Purifier*
7. *Vacum Dryer*
8. *Sludge Oil Tank*
9. *Sludge Vibrating Screen*
10. *Sludge Centrifuge*
11. *Fat Pit*
12. *Storage Tank*



Gambar 2.22 Stasiun Pemurnian Minyak (*Clarification Station*)

2.9.7 Stasiun Pengolahan Biji (*Nut Plant Station*)

Campuran ampas atau serabut (*fiber*) dan biji (*nut*) yang keluar dari *screw press* diproses kembali untuk menghasilkan cangkang (*shell*) dan serabut (*fiber*) yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler* dan inti sawit (*kernel*) sebagai bahan baku yang siap dipasarkan. Bahan baku ini (*kernel*) akan diproduksi lebih lanjut menjadi PKO (*Palm Kernel Oil*) di PTPN IV Unit Usaha Pabatu.

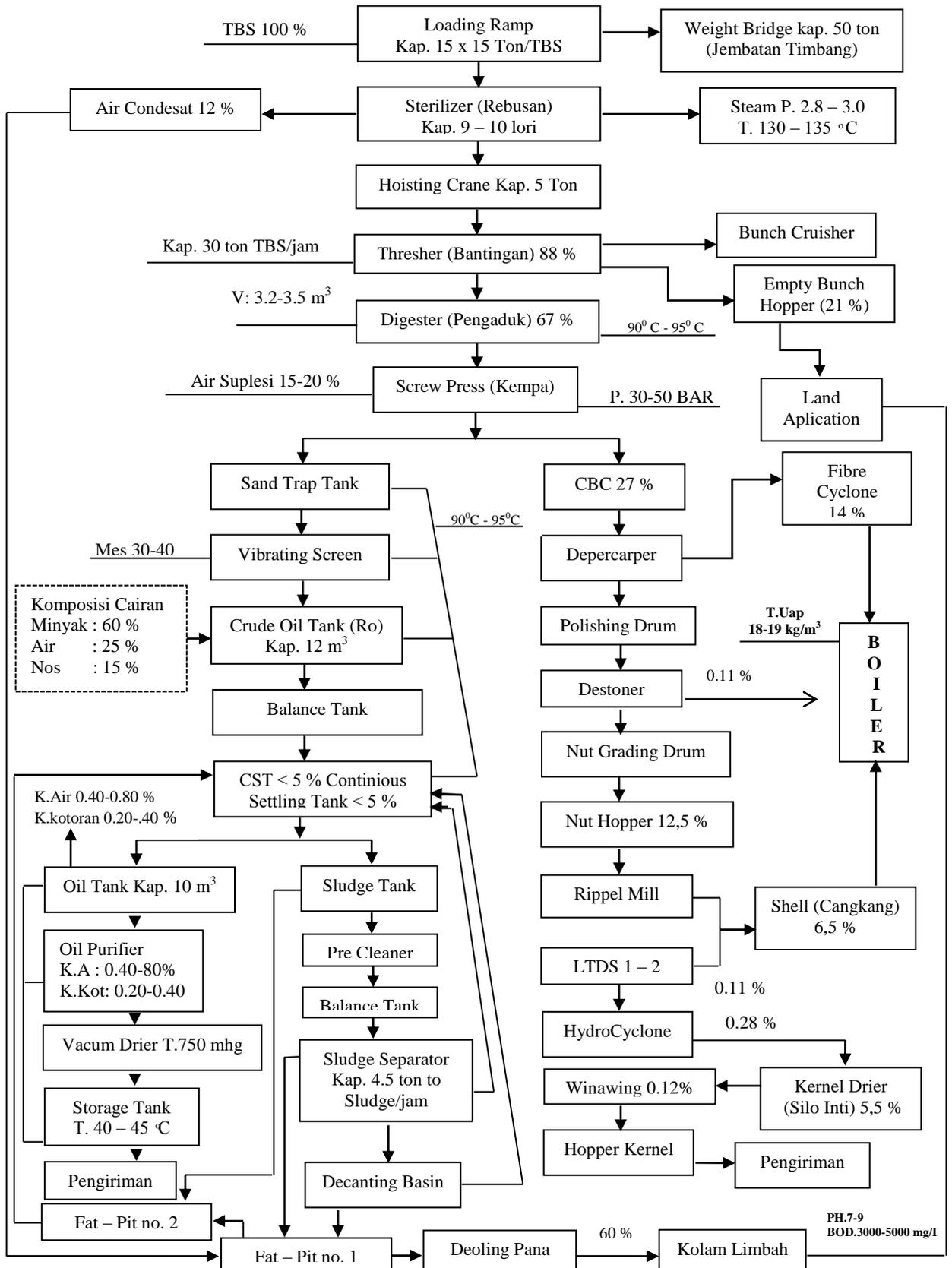
Kernel recovery meliputi aspek kegiatan pemecahan biji, pemisahan kernel dari cangkang, pengeringan serta penyimpanan *kernel*. Pada stasiun ini dilakukan aktifitas pemisahan serabut dari biji, pemisahan inti dari cangkangnya dan juga pengeringan inti. Tahapan-tahapan proses pada stasiun pemecah biji (*kernel*) adalah :

1. *Cake brake conveyor*
2. *Depericarper*
3. *Nut polishing drum*
4. *Nut transport*

5. *Nut silo*
6. *Nut grading drum*
7. *Ripple mill dan super craker*
8. *LTDS (Light Tenera Dust Separation)*
9. *Kernel grading drum*
10. *Claybath*
11. *Kernel silo*
12. *Kernel storage*



Gambar 2.23 Stasiun Pengolahan Biji (*Nut Plant Station*)



Gambar 2.24 Alur Proses Dan *Material Balance* Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

2.10 Sarana Pendukung Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

Sarana pendukung adalah sarana yang diperlukan untuk memperlancar jalannya proses produksi (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Sarana pendukung di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina diantaranya adalah stasiun penyediaan uap (*boiler*), stasiun kamar mesin (*power house*), pembangkit tenaga listrik (*steam engine*), stasiun penyedia air (*water treatment & demin plant*).

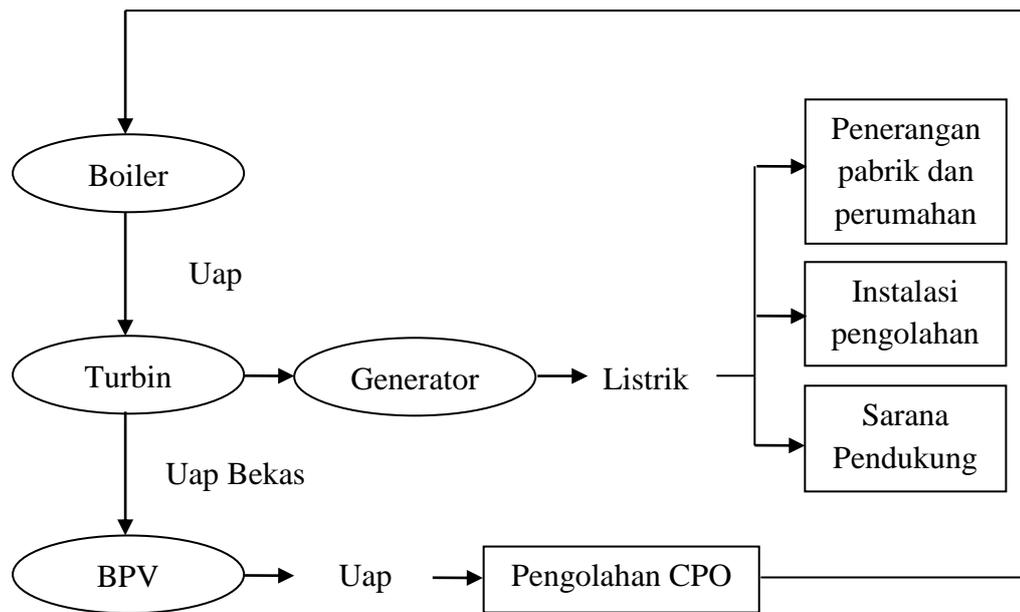
2.10.1 Penyediaan Energi

Energi dalam dunia industri sangat penting karena energi tersebut dapat dikonversikan ke berbagai bentuk energi lain. Untuk memenuhi kebutuhan uap pada bagian pengolahan dan pembangkit tenaga listrik, dibutuhkan mesin pendukung yang dapat menghasilkan uap panas. Sarana penyediaan energi di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina adalah Stasiun Ketel Uap (*boiler*) dan Stasiun Kamar Mesin (*power house*).

2.10.1.1 Stasiun Ketel Uap (*Boiler*)

Stasiun ketel uap (*boiler*) merupakan sumber energi uap yang akan digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik. Sistem yang digunakan terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mempunyai 2 unit boiler, tetapi hanya 1 saja yang dipakai, sedangkan 1 unit lagi sebagai cadangan (*stand by*). Kapasitas uap *boiler* adalah 18 ton uap/jam, kapasitas air umpan 20 ton/jam, dan kapasitas uap produksi 18 – 19 ton uap/jam. Bahan bakar menggunakan limbah padat hasil pengolahan kelapa

sawit yaitu cangkang dan serabut. Jenis ketel uap yang digunakan adalah jenis ketel uap pipa air (*boiler water tube*) dimana air yang di panaskan berada dalam pipa dan berubah menjadi uap (*steam*) secara terus menerus. sedangkan gas panas hasil pembakaran mengalir melalui sela-sela pipa.



Gambar 2.25 Bagan Alir Penggunaan Uap



Gambar 2.26 Ruang Bahan Bakar *Boiler* Pada Stasiun Ketel Uap

2.10.1.2 Stasiun Kamar Mesin (*Power House*)

Didalam kamar mesin terdapat mesin pembangkit energi listrik atau power plant (lihat Tabel 3.9) yang merupakan bagian stasiun pusat tenaga dimana tenaga listrik diperoleh, pembangkit listrik tenaga *diesel* yang mempunyai bahan bakar solar dan pembangkit listrik tenaga uap (turbin uap) yang menggunakan uap sebagai tenaga penggerak.

1. Turbin Uap

Turbin uap merupakan alat untuk mengkonversikan energi dari steam menjadi energi mekanis (putaran) untuk membangkitkan energi listrik melalui alternator. Rangkaian pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 1 unit turbin uap, 1 unit *gear box*, dan 1 unit alternator. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina melakukan sinkronisasi terhadap turbin uap dan *diesel* genset. Artinya, pada saat melalui proses pengolahan, *diesel* dioperasikan terlebih dahulu. Kemudian jika sinkronisasi berhasil, beban genset di turunkan dan beban turbin uap dinaikkan. Frekuensi dan *voltase* turbin adalah 50 Hz dan 380 volt. Uap yang digunakan pada turbin uap merupakan uap kering.



Gambar 2.27 Turbin Uap No. 2 Berkapasitas 1000 kVA

2. Genset (*Diesel-Generator*)

Saat tenaga yang dihasilkan turbin berkurang, maka genset diparalelkan dengan turbin. Genset juga diperlukan untuk menggantikan peran turbin pada saat pabrik tidak mengolah. Genset (*Generator set*) merupakan generator dengan *diesel engine* yang berfungsi sebagai start awal proses dan juga pada saat tenaga yang dihasilkan dari turbin tidak mencukupi untuk pengolahan. Jika turbin mampu digunakan untuk proses pengolahan, maka genset tidak perlu dioperasikan. Tetapi bila beban lebih maka genset akan digunakan secara paralel dengan turbin. Pada akhir pengolahan, genset mulai dioperasikan kembali. *Voltase* pada genset harus dipastikan berada pada batas normal yaitu 380 Volt – 400 Volt.



Gambar 2.28 Genset (*Disel-Generator*) Berkapasitas 500 KVA dan 250 KVA

3. Panel Kontrol

Panel kontrol adalah lemari pembangkit untuk mendistribusikan tenaga listrik ke stasiun-stasiun di dalam pabrik dan peralatan lain yang menggunakan

listrik. Panel ini dilengkapi dengan saklar-saklar pembagi ke stasiun-stasiun, kapasitor, *syncroizer*, dan alat-alat ukur listrik.



Gambar 2.29 Panel Kontrol Utama Pada Kamar Mesin

4. Listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara)

Sumber listrik PLN hanya digunakan pada saat Genset mengalami kerusakan, arus listrik PLN hanya digunakan pada perkantoran, fasilitas umum dan perumahan di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

5. *Back Presseur Vessel* (BPV)

Jika *steam* (uap) yang dibutuhkan tidak mencukupi, dapat dibantu dengan mengalirkan uap langsung dari turbin yang dikirim melalui kran *bypass*. Uap sisa dari turbin yang masuk ke BPV akan dikonversikan menjadi uap basah dengan cara menginjeksikan air. Tekanan *steam* yang digunakan dalam proses pengolahan adalah $2,8 - 3,5 \text{ kg/cm}^2$. *Back Presseur Vessel* berfungsi untuk mengumpulkan uap dari turbin yang mempunyai tekanan $3,0 \text{ kg/cm}^2$ dan akan didistribusikan kepada unit yang membutuhkan uap. (PKS) PTPN IV Unit Usaha

Adolina memiliki *Back Presseur Vessel* yang dilengkapi dengan *manometer*, *thermometer*, dan *bypass* yang dilengkapi dengan *reducer valve*. Alat ini adalah bejana tekanan yang menampung *exhaust system* dari turbin uap untuk disalurkan ke stasiun-stasiun pengolahan yang membutuhkan *steam* terutama pada stasiun perebusan. *Supply* utama berasal dari steam bekas turbin uap. Dalam pengoperasian *Back Presseur Vessel* perlu memperhatikan faktor-faktor agar tidak terjadi kesalahan (kerusakan dan bahaya) diantaranya yaitu menjaga tekanan *Back Presseur Vessel* pada tekanan 2,8 – 3,5 kg/cm² , membuang uap jika tekanan melebihi 3,5 kg/cm² , dan mengatur distribusi steam agar semua proses pengolahan berjalan lancar.



Gambar 2.30 *Back Presseur Vessel* (BPV)

2.10.2 Penyediaan Air

Penyediaan air merupakan hal terpenting dalam pabrik kelapa sawit guna mendukung proses pengolahan kelapa sawit berjalan lancar. Sarana penyediaan

air di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina terdiri dari Stasiun *Water Treatment* dan Stasiun *Demin Plant*.

2.10.2.1 Stasiun *Water Treatment*

Untuk memenuhi standar kegiatan pabrik terutama air untuk boiler harus memenuhi standar tertentu untuk menghindari sifat korosi. Korosi yang terjadi pada boiler disebabkan terutama oleh pH dan oksigen. Oleh karena pH harus dipertahankan pada nilai 10,5 – 11,5 pH. Pengurangan oksigen dilakukan dengan proses *deaerasi* yang efektif dan bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan oksigen adalah *sulphite*. Pengendalian korosi di boiler dilakukan dengan menggunakan bahan kimia (*sludge conditioner*). Proses pengolahan air mencakup pengoperasian, penjernihan, penyaringan, dan pelunakan. Proses pengolahan air akan didistribusikan untuk air domestik, yaitu air yang digunakan di kegiatan pabrik dan pemukiman penduduk (karyawan). Dalam *water treatment* dikenal dengan istilah *internal water treatment* yaitu proses pengolahan air untuk memenuhi operasional pabrik.

Proses pengolahan air terdiri dari:

1. *Internal Water Treatment*
 - a. *Water Clarifier Tank*
 - b. *Bak Water Basin*
 - c. *Sand Filter*
 - d. *Menara Air*
2. *External Water Treatment*
 - a. *Raw Water Treatment*

- b. *Sedimentasi*
- c. *Floculation dan Coagulation*
- d. *Filtration*
- e. *Demineralitation*
- f. *Deaerator*

2.10.2.2 Stasiun *Demin Plant*

Demin plant adalah stasiun yang berfungsi untuk memurnikan air dari mineral-mineral yang terdiri dari *Anion Exchanger* dan *Cation Exchanger*. *Anion Exchanger* berfungsi untuk menukar garam terhadap *hidrolisis*, sedangkan *Cation Exchanger* berfungsi untuk menukar mineral-mineral terhadap asam. Fasilitas yang terdapat pada stasiun *demin plant* adalah:

- a. *Cation Tank*
- b. *Anion Tank*
- c. *Boiler Feed Water Tank*



Gambar 2.31 Fasilitas Pada Stasiun *Demin Plant*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak 12 Oktober 2015 s/d 12 November 2015 yang meliputi studi pustaka, pengambilan data, dan analisis data. Sedangkan tempat penelitian di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, Kecamatan Perbaungan, Sumatera Utara.

3.2 Metode Pengambilan Data

Dalam penulisan Skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan pencarian bahan untuk pendalaman materi guna menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian bahan pustaka dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir.

2. Pengambilan Data Lapangan

Melakukan pengamatan data yang diberikan ditinjau dari Jumlah Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan *Boiler* di (PKS) PTPN IV Kebun Adolina Terhadap Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit.

a. Wawancara

Teknik pengumpulan data dengan mengadakan komunikasi langsung terhadap pihak perusahaan yang berwenang untuk memberikan informasi dan data yang dibutuhkan dalam penulisan laporan akhir ini.

b. Riset/Pengumpulan Data Tertulis

Riset dilakukan untuk pengambilan data yang dibutuhkan guna melengkapi data dari penulisan laporan tugas akhir. Pengambilan data dilakukan guna memenuhi tujuan dan manfaat dari penelitian ini.

3. Metode Konsultasi

Konsultasi dilakukan dengan dosen pembimbing ataupun dengan pembimbing dari instansi yang bersangkutan serta dengan pihak-pihak yang berkenaan dengan tugas akhir.

4. Metode Analisis dan Kesimpulan

Melakukan analisis dari semua data yang diperoleh dan mengambil kesimpulan akhir keseluruhan proses yang telah dilakukan.

3.3 Sumber Data

Data pada tugas akhir ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dan melalui wawancara dengan pihak terkait. Sedangkan data sekunder didapatkan dari berbagai literatur, jurnal, dan media elektronik.

3.4 Data Penelitian

Data yang dianalisis adalah data komposisi bahan bakar biomassa, data rendamen terhadap TBS (*material balance*), data harga bahan bakar, data

pembangkit tenaga listrik, data *output* daya listrik turbin uap, dan data hasil pengamatan panel listrik utama. Data-data tersebut didapat dari pengambilan data di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dan data sekunder (literatur, jurnal, dan media elektronik).

3.4.1 Data Komposisi Bahan Bakar Biomassa

Pengambilan data komposisi bahan bakar di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Data diperoleh di Laboratorium yang meliputi Komposisi Kandungan Bahan Bakar (Tabel 3.1), Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar (Tabel 3.2), dan Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar (Tabel 3.3) di bawah ini:

Tabel 3.1 Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar (*Blommendal*)

Bahan Bakar	Cangkang (kkal/kg)	Serabut (kkal/kg)
Zat Padat Bukan Minyak (NOS)	4700	3850
Minyak	8800	8800
Air	600	600

Tabel 3.2 Komposisi Kandungan Bahan Bakar

Komposisi	Cangkang	Serabut
% terhadap TBS	6,00 %	14,00 %
Kadar Zat Padat Bukan Minyak (NOS)	82,85 %	56,14 %
Kadar Minyak	1,06 %	4,38 %
Kadar Air	16,09 %	39,48 %

Tabel 3.3 Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar

Komposisi	Cangkang (Kg)	Serabut (Kg)
Zat Padat Bukan Minyak (NOS)	$82,85 \% \times 1800 = 1491,3$	$56,14 \% \times 4200 = 2357,88$
Minyak	$1,06 \% \times 1800 = 19,08$	$4,38 \% \times 4200 = 183,96$
Air	$16,09 \% \times 1800 = 289,62$	$39,48 \% \times 4200 = 1658,16$

3.4.2 Data Rendamen Terhadap TBS

Pengambilan data rendamen terhadap TBS di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Data diperoleh di Laboratorium dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4 Rendamen Terhadap TBS (*Material Balance*)

Parameter	Rendamen Thd TBS (%)
Minyak Sawit (CPO)	24,27
Inti Sawit (PKO)	5,50
Tandan Kosong	21,00
Cangkang	6,00
Serabut	14,00

3.4.3 Data Harga Bahan Bakar

Pengambilan data harga bahan bakar biomassa diperoleh dari (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Sedangkan harga solar diperoleh dari harga solar PT. Pertamina untuk Industri pada Oktober 2015, dan dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut:

Tabel 3.5 Harga Bahan Bakar Solar, Cangkang, dan Serabut

Bahan Bakar	Harga
Cangkang	Rp.500 /kg
Serabut	Rp.110 /kg

3.4.4 Data Pembangkit Tenaga Listrik

Pengambilan data pembangkit tenaga listrik di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Pengambilan data dilakukan di Stasiun Kamar Mesin (*Power House*) dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini:

Tabel 3.6 Spesifikasi Mesin Pembangkit Tenaga Listrik

No.	Peralatan/Mesin Pembangkit	Jumlah Unit	Merk/Buatan	Type	Kapasitas
1	Turbin Uap No. 1	1	Dresser Rand	281WHB	750 kVA/600 kW
2	Turbin Uap No. 2	1	Dresser Rand	503WB	1000 kVA/800kW
3	Turbin Uap No. 3	1	Dresser Rand	UE-24682	850 kVA/680 kW
4	Mesin Genset Diesel No. 1	1	Caterpillar /Jerman	3306 B	250 kVA/200 kW
5	Mesin Genset Diesel No. 2	1	Caterpillar /Jerman	3306 B	500 kVA/400 kW
6	Transformator (PLN)	1	Trafindo /Indonesia	-	800 kVA/640 kW

3.4.5 Data Output Daya Listrik Turbin Uap

Pengambilan data *output* daya listrik turbin uap di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Pengambilan data dilakukan di Stasiun Kamar Mesin (*Power House*) dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 di bawah ini:

Tabel 3.7 *Output* Daya Beban Listrik Turbin Uap No. 2

Hari ke	Waktu Beroperasi (jam/hari)	Daya Beban Terpasang (kW)	Daya Beban Terukur (Kw/jam)	Efisiensi (%)	Energi Listrik (kWh/hari)
1	24	800	490	61,25	11.760
2	24	800	482	60,25	11.568
Jumlah/Rataan	24	800	486	60,75	11.664

Tabel 3.8 *Output* Daya Beban Listrik Turbin Uap No. 3

Hari ke	Waktu Beroperasi (jam/hari)	Daya Beban Terpasang (kW)	Daya Beban Terukur (kW/jam)	Efisiensi (%)	Energi Listrik (kWh/hari)
1	24	680	459	67,57	11.016
2	24	680	518	76,17	12.432
Jumlah/Rataan	24	680	488	71,87	11.712

3.4.6 Data Hasil Pengamatan Panel Listrik Utama

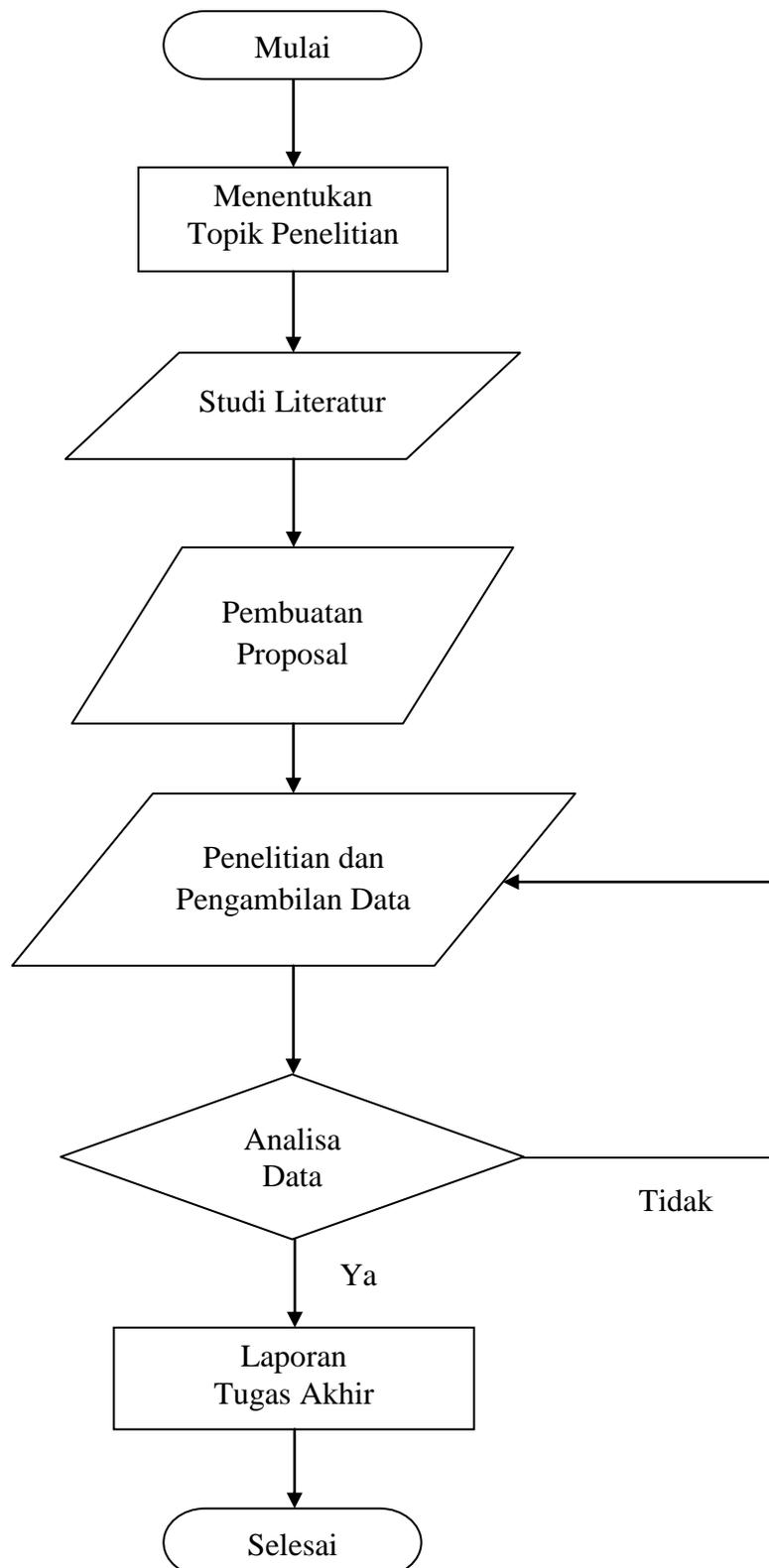
Pengambilan data hasil pengamatan panel listrik utama di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Pengambilan data dilakukan di Stasiun Kamar Mesin (*Power House*) dalam 1 hari pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut:

Tabel 3.9 Tegangan, Cos ϕ , dan Arus Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama

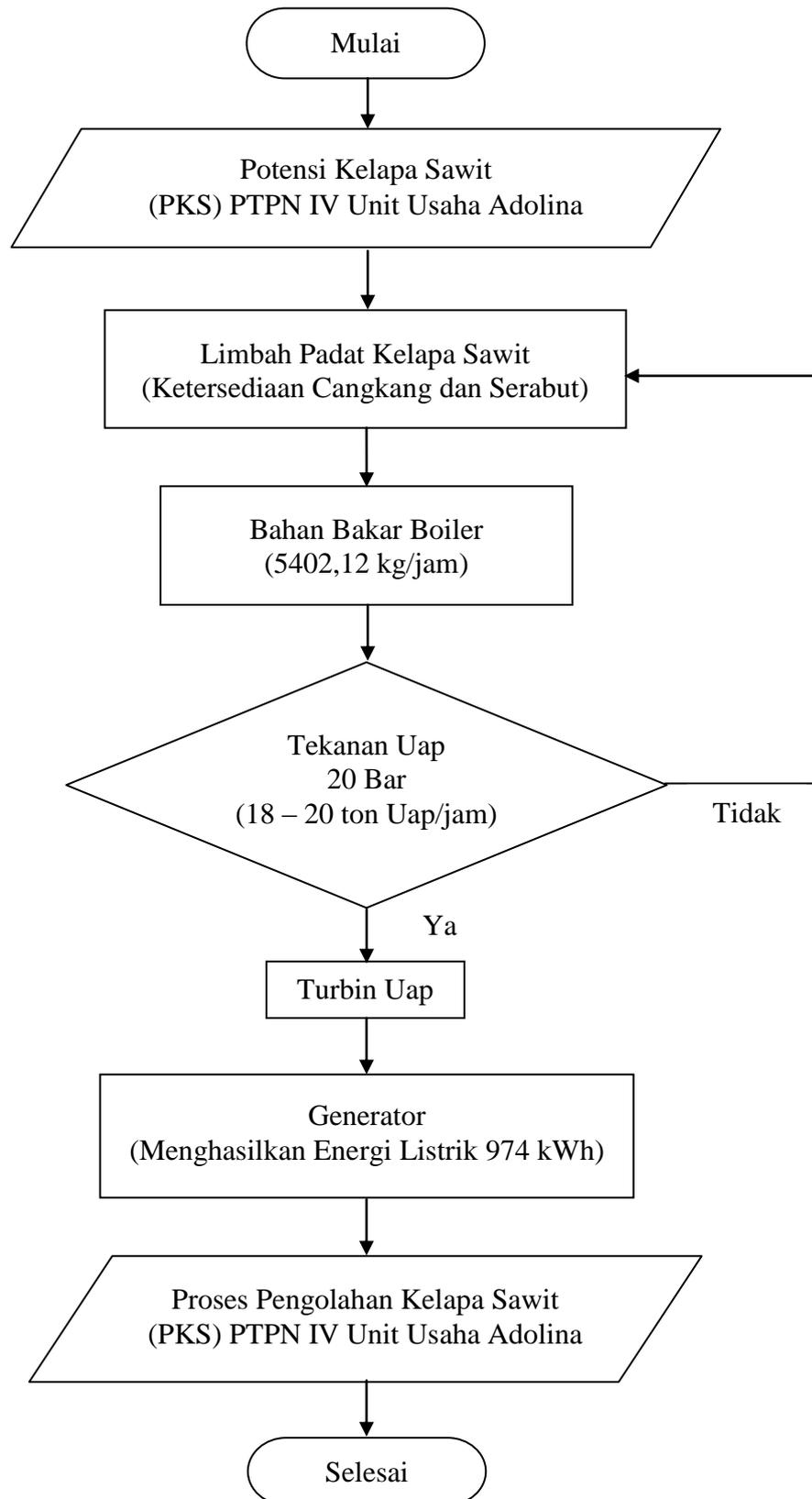
Kegiatan	Tegangan Listrik Terukur (V)	Cos ϕ Terukur	Arus Listrik Terukur (A)
Pengolahan TBS			
Penerimaan Buah & Perebusan	380	0,8	162
Penebahan	380	0,8	88
Pengempaan	380	0,8	240
Pemurnian Minyak	380	0,8	238
Pengolahan Biji	380	0,8	230
Jumlah			958
Sarana Pendukung			
Penyediaan Energi	380	0,8	200
Penyediaan Air	380	0,8	102
Jumlah			302
Total			1260

3.5 Flowchart

Flowchart atau diagram alir merupakan sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menyatakan aliran algoritma atau proses yang menampilkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. *Flowchart* membantu analisis untuk memecahkan masalah kedalam segmen-segmen yang lebih kecil dan membantu dalam menganalisis alternatif-alternatif lain dalam pengoperasian. *Flowchart* biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah khususnya masalah yang perlu dipelajari dan dievaluasi lebih lanjut.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penyusunan Tugas Akhir



Gambar 3.2 *Flowchart* Langkah Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mengolah TBS (tandan buah segar) menjadi CPO (*Crude Palm Oil*), dimana TBS diproduksi dari kebun sendiri yaitu PTPN IV Kebun Adolina. Potensi produksi kelapa sawit PTPN IV Kebun Adolina tergolong cukup tinggi. Saat ini PTPN IV Kebun Adolina memiliki potensi perkebunan kelapa sawit seluas 34.875 Ha kebun kelapa sawit yang terbagi dalam sembilan *Afdeling* (lokasi). Dalam kurun 5 tahun terakhir, total produksi TBS PTPN IV Kebun Adolina sudah mencapai 649.382 Ton TBS dengan produksi rata-rata 129.876 ton TBS/tahun (lihat Lampiran 1). Selain mendapatkan TBS hasil dari kebun sendiri, (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina juga mendapatkan TBS dari pihak ke tiga (masyarakat sekitar dan pihak lainnya) guna mencapai target pengolahan 30 ton TBS/jam. Setiap harinya PKS PTPN IV Unit Usaha Adolina mengolah TBS sebanyak 600 – 700 ton TBS/hari.

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 30 ton TBS/jam. Bahan bakar yang dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit (LPKS) berupa cangkang, serabut, dan tankos (tandan kosong). Namun yang dimanfaatkan menjadi bahan bakar boiler hanya cangkang dan serabut.

Untuk mengetahui jumlah potensi limbah padat kelapa sawit (LPKS) menjadi bahan bakar boiler pada PLTU di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, akan diuraikan perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapabilitas Olah Pabrik} \times \text{Rendamen Cangkang} \\ &= 30.0000 \text{ Kg TBS/jam} \times 6 \% \\ &= 1800 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapabilitas Olah Pabrik} \times \text{Rendamen Serabut} \\ &= 30.000 \text{ Kg TBS/jam} \times 14 \% \\ &= 4200 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 1800 \text{ Kg/jam} + 4200 \text{ Kg/jam} \\ &= 6000 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa potensi produksi limbah padat kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 30 ton TBS/jam (30.000 kg TBS/jam) dihasilkan limbah padat kelapa sawit (LPKS) cangkang sebesar 1800 kg/jam dan serabut sebesar 4200 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 6000 kg/jam.

Hasil perhitungan jumlah potensi produksi cangkang dan serabut di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Jumlah Potensi Produksi Cangkang Dan Serabut Berdasarkan Kapasitas Pengolahan Pabrik 30 Ton TBS/jam

Kapasitas Pabrik (kg TBS/jam)	LPKS	Persentasi TBS Terhadap Bahan Bakar (%)	Jumlah Bahan Bakar (kg/jam)
30,000	Cangkang	6	1800
	Serabut	14	4200
TOTAL			6000

Kebutuhan bahan bakar *boiler* dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* (dokumen internal PKS Adolina). Adapun perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* adalah sebagai berikut:

Diketahui :

- Kapasitas uap boiler (Mu) = 20.000 kg Uap/jam
- Efisiensi teknis boiler (%) = 85 %
- Nilai kalor cangkang (NK) = 3890 kkal/kg
- Nilai kalor serabut (NK) = 2309 kkal/kg
- Δ entalphy = 620,87 kkal/kg

Perhitungan :

- a. Komposisi antara cangkang dan serabut dalam 1 kg bahan umpan *boiler* yaitu 25 % : 75 %. Maka nilai kalor bahan bakar umpan yaitu :

$$= (0,25 \times 3890) + (0,75 \times 2309) = 2704,25 \text{ kkal/kg}$$

b. Kebutuhan bahan bakar boiler

$$G_{bb} = \frac{Mu \times \Delta t_{entalphy}}{NK \times \eta} = \frac{20000 \times 620.87}{2704,25 \times 0,85} = 5402,12 \text{ kg/jam}$$

Dengan komposisi yaitu:

- Cangkang = $0,25 \times 5402,12 \text{ kg/jam} = 1350,53 \text{ kg/jam}$
- Serabut = $0,75 \times 5402,12 \text{ kg/jam} = 4051,59 \text{ kg/jam}$

c. Sisa bahan bakar

- Ketersediaan bahan bakar = 6000 kg/jam
 - Cangkang = 1800 kg/jam
 - Serabut = 4200 kg/jam
- Kebutuhan bahan bakar = 5402,12 kg/jam
- Sisa bahan bakar = $6000 - 5402,12 = 597,88 \text{ kg/jam}$
 - Cangkang = $1800 - 1350,53 \text{ kg/jam} = 449,47 \text{ kg/jam}$
 - Serabut = $4200 - 4051,59 \text{ kg/jam} = 148,41 \text{ kg/jam}$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat nilai kalor cangkang dan serabut yang diperoleh masing-masing yaitu sebesar 3890 kkal/kg dan 2309 kkal/kg. Nilai kalor cangkang dan serabut diperoleh dengan perhitungan menggunakan rumus yang telah digunakan oleh (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina (lihat Lampiran 3). Perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* yaitu sebesar 5402,12 kg/jam dengan komposisi cangkang 1350,53 kg/jam dan serabut 4051,59 kg/jam. Perbedaan jumlah kebutuhan bahan bakar *boiler* dengan bahan bakar yang dihasilkan mengakibatkan adanya sisa bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 597,88 kg/jam dengan komposisi cangkang sebesar 449,47 kg/jam dan serabut sebesar 148,41 kg/jam.

Hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini:

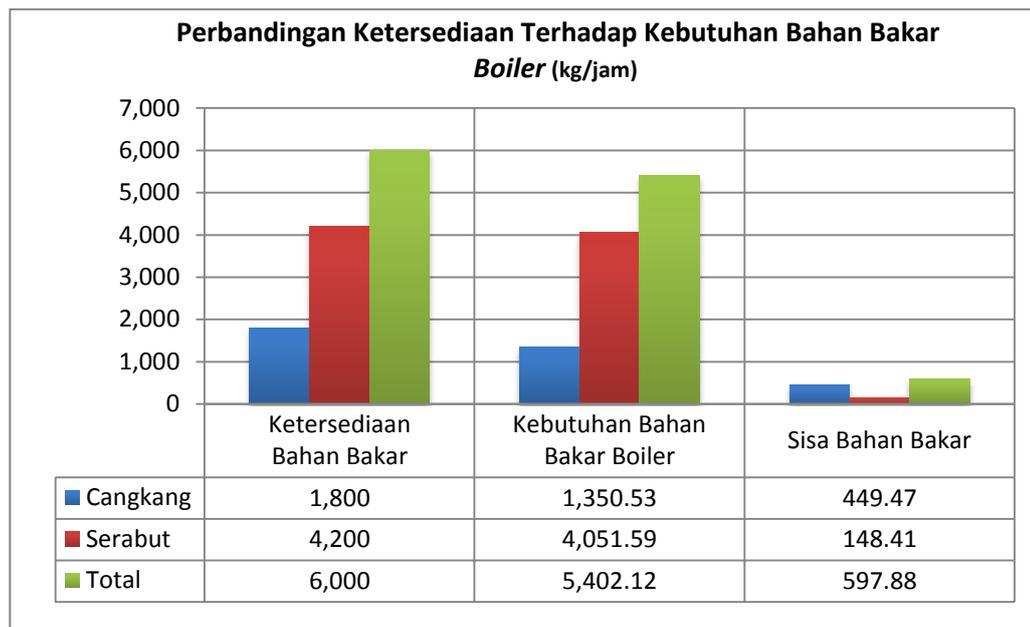
Tabel 4.2 Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

Keterangan	Nilai	
Kapasitas Uap Boiler (Mu)	20.000	kg uap/jam
Δ entalphy	620,87	kkal/jam
Efisiensi Teknis Boiler (η)	85	%
Jam Kerja Boiler	22	jam/hari
Nilai Kalor Cangkang	3890	kkal/kg
Nilai Kalor Serabut	2309	kkal/kg
Total Nilai Kalor Bahan Bakar (NK)	6199	kkal/kg
Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang	1350,53	kg/jam
Kebutuhan Bahan Bakar Serat	4051,59	kg/jam
Total Kebutuhan Bahan Bakar	5402,12	kg/jam

Perbandingan ketersediaan bahan bakar terhadap kebutuhan bahan bakar *boiler* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.3 Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

Keterangan	Cangkang	Serabut	Total
Ketersediaan Bahan Bakar (kg/jam)	1800	4200	6000
Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i> (kg/jam)	1350,53	4051,59	5402,12
Kelebihan Bahan Bakar (kg/jam)	449,47	148,41	597,88



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

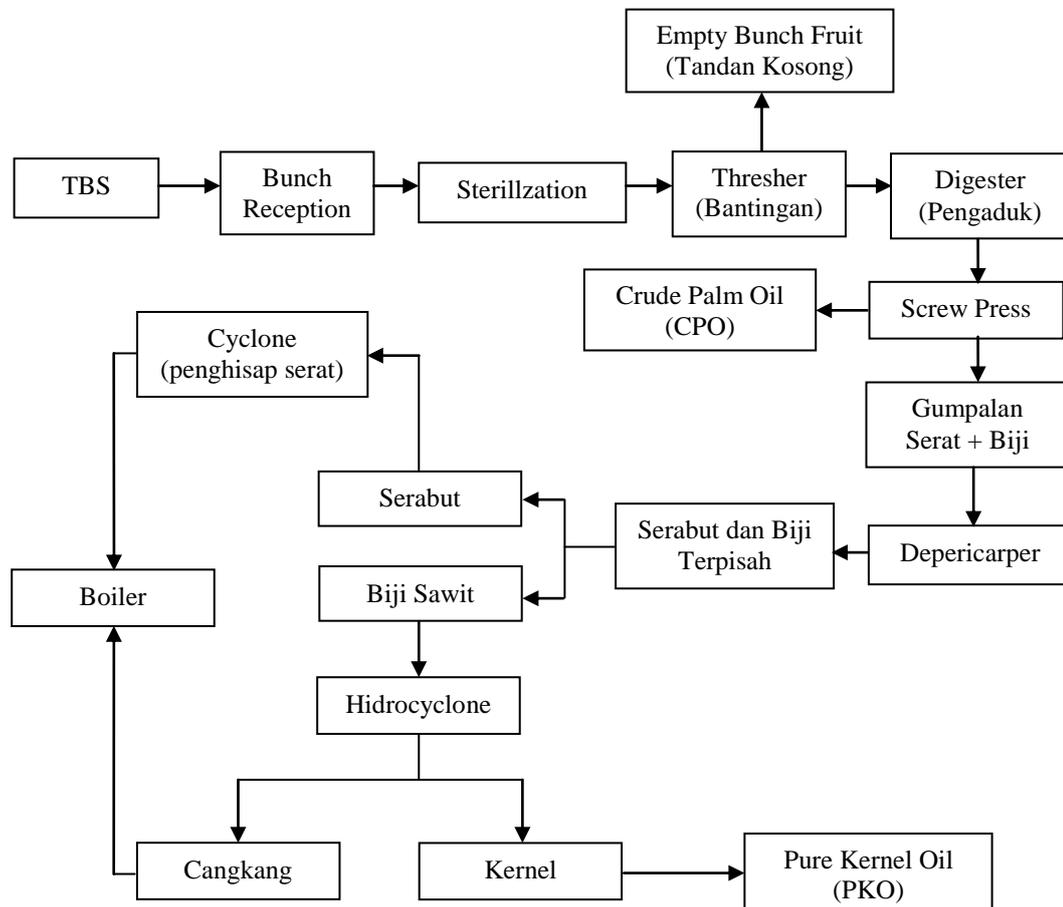
Dari pembahasan diatas maka didapatkan kesimpulan bahwa dengan jumlah produksi cangkang dan serabut tersebut, sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar *boiler*. Dimana bahan bakar yang di hasilkan limbah padat kelapa sawit (LPKS) sebesar 6000 kg/jam, sedangkan kebutuhan bahan bakar *boiler* sebesar 5402,12 kg/jam, maka didapatkan kelebihan (sisa) bahan bakar *boiler* sebesar 597,88 kg/jam. Hal ini juga terbukti dengan pengamatan yang dilakukan bahwa untuk memenuhi bahan bakar *boiler*, cangkang dan serabut dikirim langsung ke ruang bakar pada ketel uap (*boiler*) setelah dihasilkan dari proses pengolahan TBS, sehingga tidak ada pembatasan pemakaian bahan bakar hanya dengan menjaga laju uap pada *boiler* sebesar 18 - 20 kg/cm². Jika menghitung biaya bahan bakar untuk pembangkitan tenaga listrik bahan bakar cangkang dan serabut (*turbin-generator*), dengan diketahui harga cangkang Rp.500 /kg dan serabut Rp.110 /kg, karena perbandingannya 25 : 75, sehingga harga campuran keduanya adalah Rp.207,5. Maka biaya bahan yang harus

dikeluarkan pabrik adalah 5402,12 kg/jam x Rp.207,5 sebesar Rp.1.120.940 per-jam.

Pada (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memanfaatkan ampas serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sebagai bahan bakar pada stasiun *boiler* yang menghasilkan uap untuk pembangkit tenaga listrik yang menggerakkan mesin-mesin pabrik dan untuk proses pengolahan minyak dan *kernel* (inti sawit) dengan komposisi biomassa yang digunakan untuk bahan bakar *boiler* yaitu 25 % cangkang dan 75 % serabut. Atau pemakaian bahan bakar cangkang dan serabut masing-masing 1 : 3. Tujuan pemanfaatan limbah padat kelapa sawit menjadi bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap adalah untuk memanaskan air dalam *boiler* yang akan menghasilkan panas menjadi uap sebagai sumber energi dan mengurangi biaya operasional/pengolahan limbah semaksimal mungkin sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan di areal pabrik dan sekitarnya. Oleh karena itu direncanakan seluruh limbah padat dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Serabut didapatkan dengan cara mengepres buah yang terdiri dari sejumlah minyak dengan mesin *screw press*. Setelah itu, serabut buah kelapa sawit akan terpisah dengan bijiya. Sebenarnya serabut ini masih mengandung sedikit minyak dan kalori terkandung pada serabut sebesar 2309 kkal/kg. Cangkang didapatkan dengan memecah biji buah kelapa sawit dengan alat pemecah selanjutnya cangkang dikeringkan terlebih dahulu kemudian dikirim langsung ke ruang bahan bakar ketel uap (*boiler*) melalui *conveyor*. Kalori yang terkandung cukup tinggi yaitu 3890 kkal/kg, sehingga dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Untuk mengetahui bagaimana proses pengambilan cangkang dan serabut pada

pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, dapat dilihat Gambar 4.2 di bawah ini:



Gambar 4.2 Proses Pengambilan Cangkang Dan Serabut Pada Buah Kelapa Sawit Di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

4.2 Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Masukan energi listrik untuk kegiatan produksi CPO dan sarana pendukungnya di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina berasal dari *turbin-generator* (PLTU), genset, dan listrik PLN. *Turbin-generator* (PLTU) merupakan suplai listrik utama dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses

pengolahan kelapa sawit dengan menggunakan bahan bakar cangkang dan serabut yang diproduksi sendiri oleh pabrik.

Dari pengamatan alat ukur yang terpasang pada panel utama di stasiun kamar mesin, diperoleh data-data nilai arus listrik terukur, tegangan listrik terukur, dan $\cos \varphi$ terukur seperti terlihat pada Tabel 3.4. Dari data-data yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya daya listrik terukur (kW/jam) pada setiap stasiun-stasiun pengolahan dalam sistem kelistrikan tiga fasa dengan menggunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

P = Daya listrik (kW/jam)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

Perhitungan daya terukur pada panel listrik utama adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Pengolahan TBS

a. Stasiun Penerimaan Buah & Perebusan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 162 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 83,72 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

b. Stasiun Penebahan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 88 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 45,47 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

c. Stasiun Pengempaan

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 240 \text{ A} \times 0,8 \\
 &= 124,03 \text{ kW/jam}
 \end{aligned}$$

d. Stasiun Pemurnian Minyak

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 238 \text{ A} \times 0,8 \\
 &= 122,99 \text{ kW/jam}
 \end{aligned}$$

e. Stasiun Pengolahan Biji

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 230 \text{ A} \times 0,8 \\
 &= 118,86 \text{ kW/jam}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Sarana Pendukung

a. Penyediaan Energi

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 200 \text{ A} \times 0,8 \\
 &= 103,36 \text{ kW/jam}
 \end{aligned}$$

b. Penyediaan Air

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\
 &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 102 \text{ A} \times 0,8 \\
 &= 52,71 \text{ kW/jam}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan daya listrik terukur pada panel listrik utama dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Daya Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama

Kegiatan	Arus Listrik Terukur (A)	Tegangan Listrik Terukur (V)	Cos ϕ Terukur	Daya Listrik Terukur (kW/jam)
Pengolahan TBS				
Penerimaan Buah & Perebusan	162	380	0,8	83,72
Penebahan	88	380	0,8	45,47
Pengempaan	240	380	0,8	124,03
Pemurnian Minyak	238	380	0,8	122,99
Pengolahan Biji	230	380	0,8	118,86
Jumlah	958			495,07
Sarana Pendukung				
Penyediaan Energi	200	380	0,8	103,36
Penyediaan Air	102	380	0,8	52,71
Jumlah	302			156,07
Total	1260			651,14

Dari perhitungan diatas didapatkan daya listrik terukur pada setiap kegiatan proses pengolahan kelapa sawit yang dihitung dengan menggunakan rumus daya listrik secara umum. Pengukuran arus terukur dilakukan dengan alokasi waktu per-jam, sehingga dihasilkan daya listrik terukur (kW/jam) sama dengan energi listrik terpakai dalam waktu 1 jam (kWh).

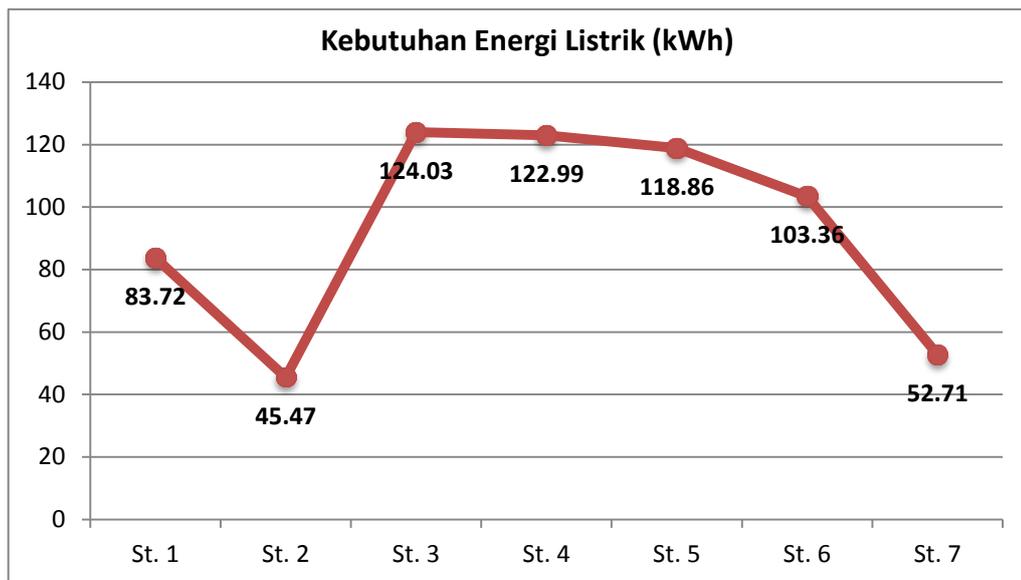
Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik terbesar pengolahan TBS pada kegiatan pengempaan sebesar 124,03 kWh, dengan persentase penggunaan sebesar 25,05% dan penggunaan daya terbesar sarana pendukung pada kegiatan penyediaan energi sebesar 103,36 kWh, dengan persentase penggunaan sebesar 66,23%. Sedangkan kebutuhan listrik terbesar untuk proses pengolahan kelapa sawit adalah pengolahan TBS sebesar 495,07 kWh, dengan persentase penggunaan sebesar 76,03%. Sedangkan pada sarana

pendukung kebutuhan energi listrik sebesar 156,07 kWh, dengan persentase penggunaan sebesar 23,97%. Maka total kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina adalah 651,14 kWh. Kebutuhan energi listrik terbesar adalah pengolahan TBS karena kegiatan-kegiatan pada pengolahan TBS terdapat banyak peralatan/mesin produksi dengan daya listrik terpasang yang cukup besar (PKS Adolina) dibandingkan kegiatan pada sarana pendukung. Karena tidak didapatkan data daya listrik terpasang pada peralatan/mesin, maka nilai efisiensi teknis peralatan/mesin tidak dapat diketahui.

Hasil Persentase kebutuhan energi listrik terhadap sejumlah kegiatan pada proses pengolahan kelapa sawit dan sarana pendukung dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.3 berikut:

Tabel 4.5 Persentase Kebutuhan Energi Listrik Terhadap Jumlah Kegiatan Pada Setiap Kegiatan Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

Kegiatan	Kebutuhan Energi Listrik (kWh)	Persentase Terhadap Jumlah Kegiatan (%)	Persentase Total (%)
Pengolahan TBS			
Penerimaan Buah & Perebusan (St.1)	83,72	16,91	76,03
Penebahan (St.2)	45,47	9,20	
Pengempaan (St.3)	124,03	25,05	
Pemurnian Minyak (St.4)	122,99	24,84	
Pengolahan Biji (St.5)	118,86	24,00	
Jumlah	495,07	100	
Sarana Pendukung			
Penyediaan Energi (St.6)	103,36	66,23	23,97
Penyediaan Air (St.7)	52,71	33,77	
Jumlah	156,07	100	
Total	651,14	-	100



Gambar 4.3 Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

Dari pengamatan yang dilakukan di kamar mesin, diketahui turbin uap no. 2 dengan kapasitas daya terpasang 800 kW menghasilkan daya listrik keluaran (terukur) dengan rata-rata sebesar 486 kW/jam, memiliki efisiensi pembangkit listrik sebesar 60,75 %. Sedangkan turbin uap no. 3 dengan kapasitas daya terpasang 680 kW menghasilkan daya listrik keluaran (terukur) dengan rata-rata sebesar 488 kW/jam, memiliki efisiensi pembangkit listrik sebesar 71,87 %, seperti terlihat pada Tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6 *Output* Listrik Turbin Uap No.2 dan Turbin Uap No. 3

Mesin Pembangkit	Waktu Beroperasi (jam/hari)	Daya Listrik Terpasang (kW)	Daya Listrik Terukur (kW/jam)	Energi Listrik (kWh/hari)	Efisiensi (%)
Turbin Uap No. 2	24	800	486	11.664	60,75
Turbin Uap No. 3	24	680	488	11.712	71,87
Jumlah/Rataan	24	1480	974	23.376	65,81

Pengamatan pada turbin uap no. 2 dan no. 3 (lihat Tabel 4.6) diketahui bahwa total jumlah *output* energi listrik sebesar 974 kW/jam (kWh), sedangkan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit sebesar 651,14 kWh (lihat Tabel 4.4), maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan daya listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina sudah terpenuhi (cukup). Sedangkan kebutuhan daya listrik di luar pengolahan kelapa sawit dapat dikatakan sudah terpenuhi, jika melihat kebutuhan listrik di luar pengolahan kelapa sawit untuk pabrik berkapasitas 30 ton TBS/jam adalah \pm 200 kWh - 300 kWh (PKS Adolina).

Perbandingan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit terhadap *output* listrik turbin uap di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4.7 Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Terhadap *Output* Listrik Turbin Uap

Kebutuhan Energi Listrik (kWh)	Total Jumlah Output listrik Turbin Uap (kWh)	Persentase (%)	Kelebihan Energi Listrik (kWh)	Persentase (%)
651,14	974	66,85	322.86	33,15

Hasil analisa diatas bahwa kebutuhan energi listrik di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina baik untuk kegiatan pengolahan kelapa sawit maupun fasilitas-fasilitas lain sudah cukup dan terpenuhi, sehingga pabrik tidak perlu menghidupkan genset atau PLN, kecuali jika daya listrik keluaran turbin uap tidak cukup atau sedang adanya perbaikan. Namun dari pengamatan di lapangan, listrik PLN digunakan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik pada saat

turbin uap no. 3 berhenti beroperasi yang disebabkan karena suplai uap dari *boiler* tidak mencukupi untuk memutar kedua turbin uap sekaligus, sehingga memaksakan turbin no. 3 berhenti beroperasi dan menggantikannya dengan listrik PLN dibandingkan mengoperasikan genset yang mengalami kerusakan. Ini mengindikasikan bahwa dalam kegiatan pembangkitan energi listrik pada pabrik kurang baik. Seharusnya pabrik dalam memenuhi kebutuhan energi listrik dapat mengoperasikan turbin uap saja, baik untuk kegiatan proses pengolahan kelapa sawit maupun kebutuhan energi listrik untuk fasilitas dan sarana pendukung lainnya. Jika kapasitas turbin lebih kecil dibandingkan dengan jumlah kebutuhan listrik, maka biasanya genset akan dioperasikan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik yang kurang dengan cara turbin uap dan genset disinkronkan melalui panel sinkron, sehingga tidak menghidupkan PLN sebagai sumber listrik mengingat biaya pemakaian listrik PLN lebih besar dibandingkan dengan penggunaan genset dan pengoperasian pembangkit listrik selain turbin uap akan tidak menghemat biaya operasional pabrik dalam pengolahan kelapa sawit (PKS Adolina).

Dengan data-data hasil pembahasan analisa diatas, diharapkan dapat membantu pengelola pabrik untuk mengantisipasi dan mengamati lebih lanjut keadaan di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Hal utama yang harus diperhatikan adalah penyediaan bahan bakar *boiler* dengan mencoba meningkatkan kapasitas produksi pabrik sehingga keseimbangan proses dapat berjalan dengan baik dan kebutuhan energi listrik pada pabrik tetap terpenuhi/tercukupi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memanfaatkan LPKS berupa ampas serabut (*fiber*) & cangkang (*shell*) sebagai bahan bakar pada stasiun *boiler* sehingga menghasilkan uap guna pembangkitan tenaga listrik untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik pada proses pengolahan kelapa sawit. Sedangkan potensi jumlah bahan bakar yang dihasilkan dari LPKS dengan kapasitas pabrik 30 ton TBS/jam sebesar 6000 kg/jam, dan kebutuhan bahan bakar *boiler* yang digunakan sebesar 5402,12 kg/jam, maka kelebihan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 597,88 kg/jam.
2. Total *output* energi listrik dari turbin uap sebesar 974 kWh, sedangkan kebutuhan energi listrik sebesar 651,14 kWh, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina sudah terpenuhi (cukup).

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Untuk lebih menekan biaya operasional pabrik, maka disarankan untuk penggunaan turbin uap lebih dimaksimalkan agar penggunaan genset atau listrik PLN tidak terlalu sering digunakan.

2. Untuk lebih memaksimalkan keluaran daya listrik turbin, maka disarankan pihak pabrik untuk mengganti turbin uap dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi, sehingga daya listrik yang dihasilkan dapat mencukupi kebutuhan daya listrik pabrik tanpa harus menghidupkan turbin lain dan genset/PLN.
3. Disarankan PTPN IV Kebun Adolina lebih meningkatkan produksi kelapa sawit (TBS) untuk di PKS dan tidak tergantung kepada produksi kelapa sawit dari pihak lain agar kegiatan pengolahan kelapa sawit tetap lancar.
4. Dari pengamatan langsung dilapangan, perlu dilakukan audit kelayakan instalasi kelistrikan pabrik, mengingat kondisi kelistrikan pabrik saat ini kurang baik agar dapat segera dilaksanakannya perbaikan instalasi listrik pabrik.
5. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih memaksimalkan pendataan setiap peralatan/mesin produksi agar didapatkan data kapasitas terpasang dengan kapasitas terukur sehingga diketahui nilai efisiensi teknis pada setiap peralatan/mesin produksi.
6. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisa biaya bahan bakar pembangkitan tenaga listrik agar dapat diketahui perbandingan biaya bahan biomassa dengan bahan bakar minyak (solar) sehingga didapatkan penghematan (efisiensi) dari kedua bahan bakar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zainul. 2015. Buku Pintar Pabrik Kelapa Sawit.[1].
<https://pakinyo46.files.wordpress.com/2012/09/buku-pintar.pdf>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013 – 2015. Jakarta .[2].
- Ditjen PPHP. 2006. Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Subdit Pengelolaan Lingkungan, Direktorat Pengolahan hasil Pertanian, Departemen Pertanian. Jakarta.[3].
- Dokumen Intern PT. Perkebunan Nusantara (Persero). 2009. Buku Panduan Pedoman Operasional Pengolahan Kelapa Sawit (Bagian Pengolahan). Medan, Sumatera Utara.[4].
- Emmoy, Ivan. 2013. Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit.[5]
<https://ivanemmoy.wordpress.com/2013/11/29/kelistrikan-kelapa-sawit/>
- Inayah, Tisah Afiatul. 2013. Audit Energi Pada Proses Produksi CPO (*Crude Palm Oil*) Di PMKS PT. Condong Garut, Jawa Barat. *Skripsi*. Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.[6].
- Kurnia, Angga, dkk. 2015. Proses Pembuatan Minyak Kelapa Sawit Di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Adolina Perbaungan-Sumatera Utara. Laporan Kerja Praktek. Jurusan Teknik Mesin, STTH. Medan.[7].
- Kusuma, Indra Permata. 2011. Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di Kalimantan Selatan (Studi Kasus Kabupaten Tanah Laut). *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS. Surabaya.[8].
- Loekito, Henry. 2002. Teknologi Pengelolaan Limbah Industri Kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 3, No. 3.[9].
- Marsudi, Djiteng. 2005. Pembangkitan Energi Listrik. Erlangga. Jakarta.[10].
- Mustikaningsih, Ika Sapto. 1996. Analisis Konsumsi Energi Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) Kertajaya, PTP. XI, Banten Selatan. *Skripsi*. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.[11]

Saragih, Riyan Pratama. 2014. Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar Boiler Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS) Sei Mengke. Skripsi. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UMSU. Medan.[12]

Sekretariat Jendral Perindustrian. 2007. Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit. Departemen Perindustrian. Jakarta Selatan.[13].

Sunarwan, Bambang dan Riyadi Juhana. 2013. Pemanfaatan Limbah Sawit Untuk Bahan Bakar Energi Baru Dan Terbarukan (EBT) (Studi Kasus: Limbah Produksi Sawit Daerah Kabupaten Boven Digonel Papua). Jurnal Tekno Insentif Kopwil 4, Volume 7, No. ISSN: 1907-4964, halaman 1 s.d. 14.[14].

Suyitno. 2011. Pembangkit Energi Listrik. Rineke Cipta. Jakarta.[15].

_____. 2012. Ketel Uap Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit.[16]

<http://belajarsawit.blogspot.com/2012/12/ketel-uap-boiler-di-pabrik-kelapa-sawit.html>

<http://congkelberingin.blogspot.co.id/2014/01/800x600-normal-0-false-false-false-in-x.html>

Lampiran 1 Potensi Perkebunan Kelapa Sawit PTPN IV Kebun Adolina

Tabel 1 Jumlah Produksi TBS PTPN IV Kebun Adolina Dalam Kurun 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Luas Areal (Ha)	Produksi TBS (Ton)
1	2011	5980	146.335
2	2012	6737	152.357
3	2013	6966	137.967
4	2014	7596	118.932
5	2015*	7596	93.771
TOTAL		34.875	649.382

2015* = Produksi TBS sampai bulan September

Tabel 2 Jumlah Produksi LPKS PTPN IV Kebun Adolina Dalam 5 Tahun Terakhir

Tahun	Produksi TBS (Ton/tahun)	Jumlah Limbah Padat (Ton/tahun)		
		Cangkang	Serabut	Tangkos
2011	146.355	8781	20.489	30.734
2012	152.357	9141	21.329	31.994
2013	137.967	8278	19.315	28.973
2014	118.932	7135	16.650	24.975
2015*	93.771	5626	13.127	19.691
Total	649.382	38.961	90.910	136.370
Rataan	129.876,4	7729,2	18.182	27.274

2015*= Produksi LPKS Sampai Bulan September

Tabel 3 Selisih Jumlah Produksi TBS Antara Perkebunan Adolina Terhadap Jumlah TBS di Olah

Jumlah Produksi TBS Yang Di Olah (ton/tahun)	Jumlah Produksi TBS Perkebunan Adolina (rata-rata ton/tahun)	Selisih Kekurangan Jumlah Produksi TBS (ton/tahun)
237.600	129.876	107.724
Persentase (%)	54,66	45,34

Lampiran 2 Perhitungan Pengolahan Data

1. Energi Bahan Bakar Pada *Boiler*

Jumlah energi biomassa yang digunakan untuk bahan bakar pada *boiler* dihitung dengan persamaan:

$$E_{bb} = JBB \times NK$$

Nilai Kalor Bahan Bakar Biomassa dapat dihitung dengan persamaan:

$$NK = (NOS \times \text{Kadar NOS}) + (\text{Minyak} \times \text{Kadar Minyak}) - (\text{Air} \times \text{Kadar Air})$$

Dimana:

E_{bb} = Energi bahan bakar (kJ/jam)

JBB = Jumlah bahan bakar (kg/jam)

NK = Nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

NOS = Non oil solid/zat padat bukan minyak

2. Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar boiler dapat dihitung dengan persamaan:

$$B_{bb} = \frac{Mu \times \Delta \text{entalphy}}{NK \times \eta}$$

Dimana:

B_{bb} = Kebutuhan bahan bakar biomassa (kg/jam)

Mu = Kapasitas uap boiler (kg/jam)

NK = Nilai kalor (kkal/kg)

$\Delta \text{entalphy}$ = Perbedaan Entalphy Uap dan Entalphy Air Masuk (kkal)

η = Efisiensi boiler (%)

3. Produksi Uap Pada *Boiler*

Produksi uap pada *boiler* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{bb} = \frac{\eta \times B_{bb} \times NK}{\Delta \text{entalphy}}$$

Dimana:

Q_{bb} = Produksi uap (kg/jam)

B_{bb} = Kebutuhan bahan bakar biomassa (kg/jam)

NK = Nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

$\Delta \text{entalphy}$ = Perbedaan Entalphy Uap dan Entalphy Air Masuk (kkal)

η = Efisiensi boiler (%)

4. Kebutuhan Energi Listrik

Besarnya daya listrik (fasa tiga) yang digunakan untuk proses pengolahan kelapa sawit didekati dengan persamaan :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

Dimana:

P = Daya listrik (kW)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

$\text{Cos } \varphi$ = Faktor daya

Lampiran 3 Perhitungan Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar Biomassa Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit

Perhitungan nilai kalor bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebagai berikut ini :

Nilai kalor untuk masing-masing komponen bahan bakar telah ditentukan oleh “*Blommendal*”, yaitu sebagai berikut :

- ✓ Bahan bakar cangkang :
 - Zat padat bukan minyak (NOS) = 4700 kkal/kg cangkang
 - Minyak = 8800 kkal/kg
 - Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kkal/kg air
- ✓ Bahan bakar Serabut :
 - Zat padat bukan minyak (NOS) = 3850 kkal/kg serabut
 - Minyak = 8800 kkal/kg
 - Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kkal/kg air

Hasil analisa ampas kempa diperoleh komposisi kandungan bahan yakni :

- ✓ Komposisi bahan cangkang :
 - Kadar zat padat bukan minyak (NOS) = 82,85 %
 - Kadar minyak = 1,06 %
 - Kadar air = 16,09 %
- ✓ Komposisi bahan serabut :
 - Kadar zat padat bukan minyak (NOS) = 56,14 %
 - Kadar minyak = 4,38 %
 - Kadar air = 39,48 %

Maka, perhitungan nilai kalor (NK) dari cangkang dan serabut adalah :

$$\begin{aligned} \text{a) Cangkang} &= (\text{NOS} \times \text{Kadar NOS}) + (\text{Minyak} \times \text{Kadar Minyak}) - \\ &\quad (\text{Air} \times \text{Kadar Air}) \\ &= (4700 \times 82,85 \%) + (8800 \times 1,06 \%) - (600 \times 16,09 \%) \\ &= 3893,95 + 93,28 - 96,54 \\ &= 3890 \text{ kkal/kg cangkang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Serabut} &= (\text{NOS} \times \text{Kadar NOS}) + (\text{Minyak} \times \text{Kadar Minyak}) - \\ &\quad (\text{Air} \times \text{Kadar Air}) \\ &= (3850 \times 56,14 \%) + (8800 \times 4,38 \%) - (600 \times 39,48 \%) \\ &= 2161,39 + 385,44 - 236,88 \\ &= 2309 \text{ kkal/kg cangkang} \end{aligned}$$

Lampiran 4 Unit Pembangkit Listrik (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

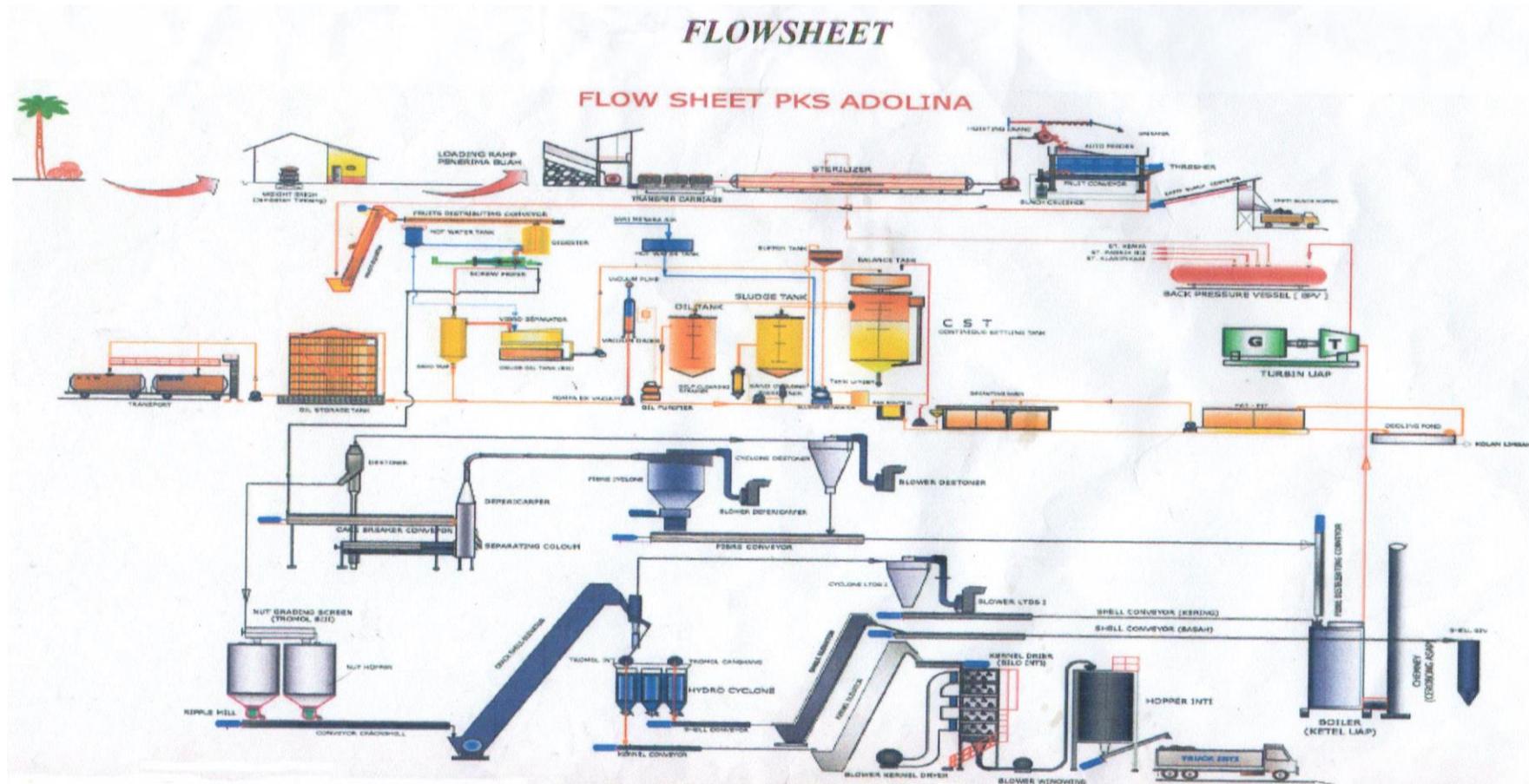


Turbin Uap No. 1 Kapasitas 750 kVA



Turbin Uap No. 3 Kapasitas 850 kVA

Lampiran 6 *Flowsheet* Proses Produksi di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina



Lampiran 7 Lokasi/Tempat Penelitian



Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Usaha Adolina Berkapasitas 30 ton TBS/jam



BIODATA

Pend. Terakhir : S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara
IPK : 3.32 (Tiga Koma Tiga Dua)



YATNO | 1107220056

Lingkungan Aek Tinga, Kelurahan Langga
Payung, Kec. Sei Kanan, Kab. Labuhan Batu
Selatan – Sumatera Utara

Telp./Hp : 082276491040

Email : anotbarca@yahoo.co.id

I. Data Pribadi

Nama : Yatno
Tempat/Tgl. Lahir : Aek Tinga / 05 Februari 1993
Kebangsaan : Indonesia
Golongan Darah : -
Status : Single
Agama : Islam

II. Pendidikan

S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik UMSU	2011 – 2016
SMK N 1 Sei Kanan	2008 – 2011
MTs. Rahmatullah Langga Payung	2005 – 2008
SD N 1 Aek Tinga	1999 – 2005

Medan, Maret 2016

Yatno

JURNAL

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK PADA PROSES PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DI (PKS) PTPN IV UNIT USAHA ADOLINA

Yatno

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UMSU 2016

Email : anotbarca@yahoo.co.id

ABSTRACT

Utilization of solid waste palm oil as fuel for the boiler is an option in the waste management business in palm oil mills. One of that became the main point of such utilization is in order to realize the electrical energy requirements for the process of power generation by generation. (PKS) PTPN IV Adolina Business Unit is a company engaged in oil palm processing argoindustri into CPO (Crude Palm Oil), has its own power generation system (power plant) with a total capacity of installed electric power of 1480 kW. This research aims to study the use of palm oil as a solid waste fuel boiler (power plant) in order to meet the needs of electrical energy in the process of crude palm oil (PKS) PTPN IV Adolina Business Unit. After conducting a study with the observation data analysis in the field, known to the potential amount of fuel (shells and fibers) of 6000 kg/hour and calculation of boiler fuel needs are known by 5402.12 kg/hour, while the turbine-generator to produce electrical energy for 974 kWh and the electrical energy requirements for the processing of palm oil at 651.14 kWh. From the analysis of these data, the study concluded that the use of palm oil solid waste (shells and fibers) into fuel boilers (power plant) can produce electrical energy that is able to meet the electricity needs in the processing of palm oil.

Keywords: Solid Waste, Boilers, Energy, Power

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam memenuhi energi listrik, pabrik kelapa sawit harus mampu menyediakan beberapa hal penting untuk menghasilkan energi listrik. Dalam hal ini, ketersediaannya bahan bakar menjadi hal utama guna terwujudnya kebutuhan energi listrik

untuk proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit.

Pada (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ini mengolah bahan baku kelapa sawit menjadi minyak mentah sawit (CPO). Untuk mengolah kelapa sawit tersebut menggunakan *boiler* sebagai pembangkit listrik tenaga uap (turbin-generator). Dalam proses

pengolahan kelapa sawit dibutuhkan daya listrik sebesar 641,14 kW/jam sedangkan daya yang dihasilkan oleh setiap turbin uap tidak selamanya mencukupi dalam pengolahan kelapa sawit. Kekurangan daya dikarenakan produksi uap dari *boiler* tidak stabil (kurang) yang menyebabkan tidak dapat memutar turbin uap dua unit sekaligus. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, maka daya disuplai dari genset dan listrik PLN.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapakah jumlah potensi limbah padat kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina yang dapat dioptimalkan sebagai bahan bakar *boiler* pada pembangkit tenaga listrik uap ?
2. Berapakah konsumsi energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina ?

1.3 Tujuan

1. Menganalisa jumlah potensi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar *boiler* pada pembangkit tenaga listrik uap di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.
2. Menganalisa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina.

LANDASAN TEORI

2.1 Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman dengan nilai ekonomis yang cukup

tinggi, karena merupakan salah-satu tanaman penghasil minyak nabati. Kelapa sawit termasuk tumbuhan pohon, tingginya dapat mencapai 24 meter, bunga dan buahnya berupa tandan, serta bercabang banyak. Buahnya kecil dan apabila masak, berwarna merah kehitaman. Daging buahnya padat mengandung minyak yang digunakan sebagai bahan minyak goreng, sabun, dan lilin. Ampasnya dimanfaatkan untuk makanan ternak, khususnya sebagai salah satu bahan pembuatan makanan ayam dan tempurungnya digunakan sebagai bahan bakar dan arang.

Tanaman kelapa sawit memiliki dua bagian, antara lain:

1. Bagian Generatif

Bagian Generatif merupakan bagian dari kelapa sawit yang meliputi akar, batang dan daun.

2. Bagian Vegetatif

Bagian Vegetatif meliputi bunga dan buah. Cangkang, Serabut (*fibre*) dan tandan kosong sawit (TKS) berasal dari buah kelapa sawit.

Hampir sebagian besar tanaman kelapa sawit unggul untuk kepentingan komersial adalah berjenis *Tenera* yang dihasilkan dengan menyilangkan benih *Dura* dan *Psifera* terpilih. *Tenera* memiliki produksi dan rendeman tinggi, serta pengolahannya tidak merusak mesin.

2.2 Limbah Padat Kelapa Sawit

Energi biomassa limbah padat kelapa sawit merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi

alternatif. Limbah kelapa sawit ini memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi dan terdiri dari:

1. Cangkang
2. Serabut
3. Tankos (Tandan Kosong)

Tabel 1. Nilai Kalor Limbah Padat Kelapa Sawit

Jenis Limbah	Kalori
Cangkang	3890 kkal/kg
Serabut	2309 kkal/kg
Tankos	2250 kkal/kg

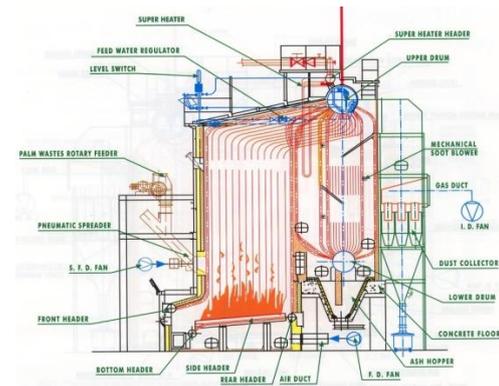
(Sumber: PKS Adolina, 2015)

2.3 Ketel Uap (*Boiler*) Pada Pabrik Kelapa Sawit

Dalam pabrik kelapa sawit ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah air menjadi uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap.

Sebagian besar ketel uap yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel uap yang menghasilkan uap *superheated*, dimana uap ini digunakan pertama kali untuk memutar turbin sebagai pembangkit tenaga listrik kemudian sisa uap dari pembangkit tersebut digunakan sebagai pemanasan TBS pada *sterilizer*. Menurut jenisnya ketel uap

terbagi menjadi 2 bagian yaitu, ketel pipa air dan ketel pipa api. Ketel yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel pipa air, maksudnya adalah air berada didalam pipa dipanaskan oleh api yang berada diluar pipa air.



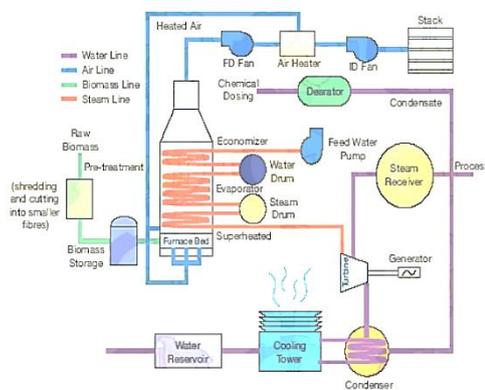
Gambar 1. *Boiler* dan Sirkulasi Air Pada Pipa Ketel Uap

2.4 Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit

Untuk memperoleh energi listrik terdapat tahapan-tahapan dari sumber bahan bakar menjadi energi listrik. Dari Gambar 2 terlihat bahwa cangkang dan serabut dimasukkan ke dalam ruang bakar digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan ketel uap sehingga menghasilkan uap yang betekanan tinggi.

Ketel uap yang digunakan dalam proses pembakaran limbah ini adalah tipe khusus yang menggunakan sistem *grate*. Berbeda dengan bahan bakar lain yang tidak menggunakan sistem *grate*. Cangkang dan serabut ini dalam penggunaannya menggunakan 25% cangkang dan serabut 75%, hal ini dikarenakan spesifikasi *boiler*. Bila penggunaannya tidak sesuai maka

akan merusak *grate*-nya. Setelah dari pembakaran cangkang dan serabut akan memanaskan air sehingga menghasilkan uap. Uap yang bertekanan tinggi dari *boiler* (20 kg/cm^2 280°C) mengalir melalui *nozzle* yang sekaligus mengurangi tekanan uap sampai menjadi bertekanan (19 kg/cm^2 260°C) diatur dengan efisiensi 85%. Poros turbin berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi direduksi kecepatan putarnya oleh *reduction gear* yang dipasang antara turbin dan generator sehingga diperoleh sinkronisasi kecepatan antara turbin dan generator. Dan karena generator berputar maka akan menimbulkan medan magnet listrik sehingga akan membangkitkan tenaga listrik.



Gambar 2. Proses Konversi Limbah Padat Menjadi Energi Listrik dan Energi Uap Panas (Kalor)

2.5 Energi Listrik

Energi merupakan hal yang terpenting dalam suatu industri, termasuk industri pertanian. Dalam kegiatan usaha industri diperlukan

input produksi pada tiap-tiap tahapan proses.

Energi yang sering digunakan dalam bidang industri adalah energi listrik. Hal ini dikarenakan energi listrik memiliki keunggulan sebagai berikut :

1. Efisiensi tinggi.
2. Peralatan penggerak lebih kecil.
3. Mudah dalam instalasinya.
4. Putaran lebih mudah diatur.

Secara umum energi listrik didekati dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$EL = \frac{P \times E_{fm} \times P_f \times 3600}{M}$$

Dimana :

- EL = Energi listrik (kJ/kg)
P = Daya peralatan/motor (kW)
E_{fm} = Faktor Efisiensi (%)
P_f = Faktor Daya (%)
M = Kapasitas produksi (kg/jam)

Sedangkan untuk menghitung daya listrik (fasa tiga) digunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Dimana:

- P = Daya listrik (kW)
V = Tegangan (volt)
I = Arus (ampere)
Cos ϕ = Faktor daya

METODOLOGI PENELITIAN

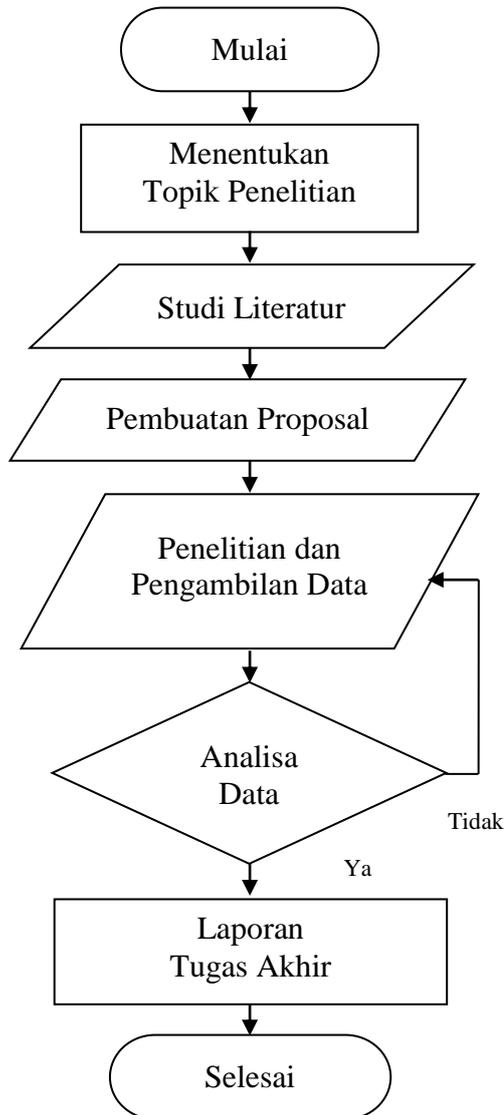
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak 12 Oktober 2015 s/d 12 November

2015 yang meliputi studi pustaka, pengambilan data, dan analisis data. Sedangkan tempat penelitian di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, Kecamatan Perbaungan, Sumatera Utara.

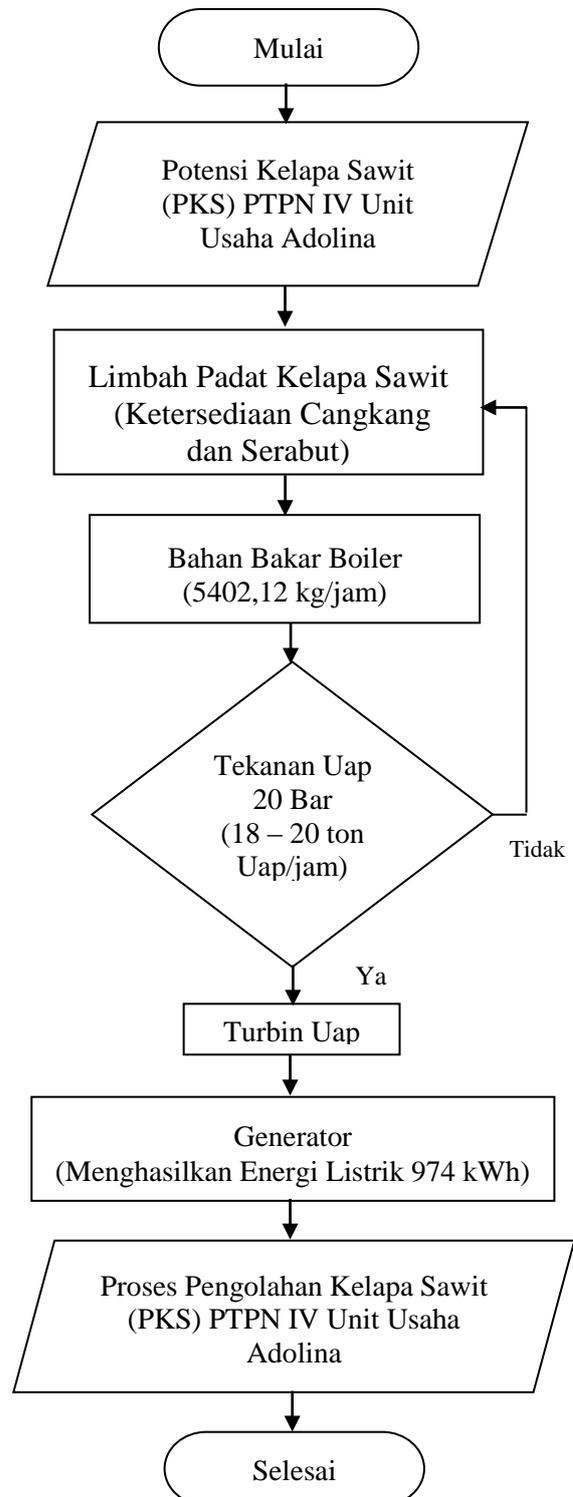
3.2 Flowchart

Adapun *flowchart* penyusunan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. *Flowchart* Penyusunan Tugas Akhir

Sedangkan, *flowchart* langkah penelitian sebagai berikut:



Gambar 4. *Flowchart* Langkah Penelitian

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler

(PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 30 ton TBS/jam. Bahan bakar yang dihasilkan dari limbah padat kelapa sawit (LPKS) berupa cangkang, serabut, dan tankos (tandan kosong). Namun yang dimanfaatkan menjadi bahan bakar *boiler* hanya cangkang dan serabut.

Untuk mengetahui jumlah potensi limbah padat kelapa sawit (LPKS) menjadi bahan bakar *boiler* pada PLTU di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, akan diuraikan perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned} \text{Produksi:} \\ &= 30,000 \text{ Kg TBS/jam} \times 6 \% \\ &= 1800 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned} \text{Produksi:} \\ &= 30,000 \text{ Kg TBS/jam} \times 14 \% \\ &= 4200 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biomassa:} \\ &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 1800 \text{ Kg/jam} + 4200 \text{ Kg/jam} \\ &= 6000 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa potensi produksi limbah padat kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 30 ton TBS/jam (30,000 kg TBS/jam) dihasilkan limbah padat kelapa sawit (LPKS) cangkang sebesar 1800 kg/jam dan serabut sebesar 4200 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 6000 kg/jam.

Hasil perhitungan jumlah potensi produksi cangkang dan serabut di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Jumlah Potensi Produksi Cangkang Dan Serabut

Kapasitas Pabrik (kg TBS/jam)	LPKS	Persentasi TBS Terhadap Bahan Bakar (%)	Jumlah Bahan Bakar (kg/jam)
30.000	Cangkang	6	1800
	Serabut	14	4200
TOTAL			6000

Kebutuhan bahan bakar *boiler* dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* (dokumen internal PKS Adolina). Adapun perhitungan kebutuhan bahan bakar *boiler* adalah sebagai berikut:

Diketahui :

- Kapasitas uap boiler (Mu) = 20000 kg Uap/jam

- Efisiensi teknis boiler (%) = 85 %
- Nilai kalor cangkang (NK) = 3890 kkal/kg
- Nilai kalor serabut (NK) = 2309 kkal/kg
- Δ entalphy = 620,87 kkal/kg

Perhitungan :

- a. Komposisi antara cangkang dan serabut dalam 1 kg bahan umpan boiler yaitu 25 % : 75 %. Maka nilai kalor bahan bakar umpan yaitu :

$$= (0,25 \times 3890) + (0,75 \times 2309)$$

$$= 2704,25 \text{ kkal/kg}$$

- b. Kebutuhan bahan bakar boiler

$$G_{bb} = \frac{Mu \times \Delta \text{entalphy}}{NK \times \eta}$$

$$= \frac{20000 \times 620,87}{2704,25 \times 0,85}$$

$$= 5402,12 \text{ kg/jam}$$

Dengan komposisi yaitu:

- Cangkang
= 0,25 x 5402,12 kg/jam
= 1350,53 kg/jam
- Serabut
= 0,75 x 5402,12 kg/jam
= 4051,59 kg/jam

- c. Sisa bahan bakar

- Ketersediaan bahan bakar
= 6000 kg/jam
- Cangkang = 1800 kg/jam
- Serabut = 4200 kg/jam
- Kebutuhan bahan bakar
= 5402,12 kg/jam
- Sisa bahan bakar
= 6000 - 5402,12

$$= 597,88 \text{ kg/jam}$$

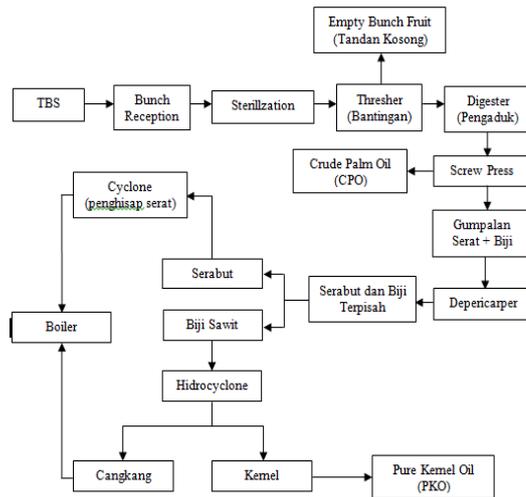
- Cangkang
= 1800 - 1350,53 kg/jam
= 449,47 kg/jam
- Serabut
= 4200 - 4051,59 kg/jam
= 148,41 kg/jam

Dari perhitungan diatas dapat dilihat nilai kalor cangkang dan serabut yang diperoleh masing-masing yaitu sebesar 3890 kkal/kg dan 2309 kkal/kg. Nilai kalor cangkang dan serabut diperoleh dengan perhitungan menggunakan rumus yang telah digunakan oleh (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina. Perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler yaitu sebesar 5402,12 kg/jam dengan komposisi cangkang 1350,53 kg/jam dan serabut 4051,59 kg/jam. Perbedaan jumlah kebutuhan bahan bakar boiler dengan bahan bakar yang dihasilkan mengakibatkan adanya sisa bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 597,88 kg/jam dengan komposisi cangkang sebesar 449,47 kg/jam dan serabut sebesar 148,41 kg/jam.

Tabel 3. Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

Keterangan	Cangkang	Serabut	Total
Ketersediaan Bahan Bakar (kg/jam)	1800	4200	6000
Kebutuhan Bahan Bakar Boiler (kg/jam)	1350,53	4051,59	5402,12
Kelebihan Bahan Bakar (kg/jam)	449,47	148,41	597,88

Untuk mengetahui bagaimana proses pengambilan cangkang dan serabut pada pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina, dapat dilihat Gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. Proses Pengambilan Cangkang Dan Serabut

4.2 Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Dari pengamatan alat ukur yang terpasang pada panel utama di stasiun kamar mesin, diperoleh data-data nilai arus listrik terukur, tegangan listrik terukur, dan $\cos \phi$ terukur. Dari data-data yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya daya listrik terukur (kW/jam) pada setiap stasiun-stasiun pengolahan dalam sistem kelistrikan tiga fasa dengan menggunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Dimana:

P = Daya listrik (kW/jam)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

$\cos \phi$ = Faktor daya

Perhitungan daya listrik terukur pada panel listrik utama adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Pengolahan TBS

a. Stasiun Penerimaan Buah & Perebusan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 162 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 83,72 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

b. Stasiun Penebahan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 88 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 45,47 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

c. Stasiun Pengempaan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 240 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 124,03 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

d. Stasiun Pemurnian Minyak

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 238 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 122,99 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

e. Stasiun Pengolahan Biji

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 230 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 118,86 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Sarana Pendukung

a. Penyediaan Energi

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 200 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 103,36 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

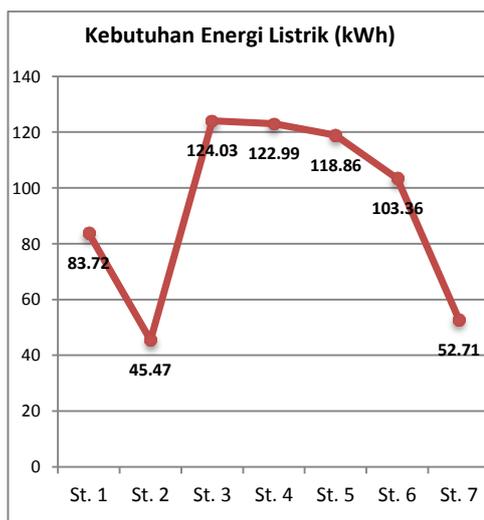
b. Penyediaan Air

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \\ &= 1,7 \times 380 \text{ V} \times 102 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 52,71 \text{ kW/jam} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan daya listrik terukur pada panel listrik utama dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Persentase Kebutuhan Energi Listrik Terhadap Jumlah Kegiatan Pada Setiap Kegiatan Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Kegiatan	Kebutuhan Energi Listrik (kWh)	Persentase Terhadap Jumlah Kegiatan (%)	Persentase Total (%)
Pengolahan TBS			
Penerimaan Buah & Perebusan (St.1)	83,72	16,91	76,03
Penebahan (St.2)	45,47	9,20	
Pengempaan (St.3)	124,03	25,05	
Pemumian Minyak (St.4)	122,99	24,84	
Pengolahan Biji (St.5)	118,86	24,00	
Jumlah	495,07	100	
Sarana Pendukung			
Penyediaan Energi (St.6)	103,36	66,23	23,97
Penyediaan Air (St.7)	52,71	33,77	
Jumlah	156,07	100	
Total	651,14	-	100



Gambar 6. Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina

Pengamatan pada turbin uap no. 2 dan no. 3 (lihat Tabel 4.6) diketahui bahwa total jumlah *output* energi listrik sebesar 974 kW/jam (kWh), sedangkan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit sebesar 651,14 kWh (lihat Tabel 4.4), maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan daya listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina sudah terpenuhi (cukup). Sedangkan kebutuhan daya listrik di luar pengolahan kelapa sawit dapat dikatakan sudah terpenuhi, jika melihat kebutuhan listrik di luar pengolahan kelapa sawit untuk pabrik berkapasitas 30 ton TBS/jam adalah \pm 200 kWh - 300 kWh (PKS Adolina).

Perbandingan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit terhadap *output* listrik turbin uap di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Terhadap *Output* Listrik Turbin Uap

Kebutuhan Energi Listrik (kWh)	Total Jumlah Output listrik Turbin Uap (kWh)	Persentase (%)	Kelebihan Energi Listrik (kWh)	Persentase (%)
651,14	974	66,85	322,86	33,15

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan

dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina memanfaatkan LPKS berupa ampas serabut (*fiber*) & cangkang (*shell*) sebagai bahan bakar pada stasiun *boiler* sehingga menghasilkan uap guna pembangkitan tenaga listrik untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik pada proses pengolahan kelapa sawit. Sedangkan potensi jumlah bahan bakar yang dihasilkan dari LPKS dengan kapasitas pabrik 30 ton TBS/jam sebesar 6000 kg/jam, dan kebutuhan bahan bakar *boiler* yang digunakan sebesar 5402,12 kg/jam, maka kelebihan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 597,88 kg/jam.
2. Total *output* energi listrik dari turbin uap sebesar 974 kWh, sedangkan kebutuhan energi listrik sebesar 651,14 kWh, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina sudah terpenuhi (cukup).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifin, Zainul. 2015. Buku Pintar Pabrik Kelapa Sawit. <https://pakinyo46.files.wordpress.com/2012/09/buku-pintar.pdf>
- [2] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013 – 2015. Jakarta.
- [3] Ditjen PPHP. 2006. Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Subdit Pengelolaan Lingkungan, Direktorat Pengolahan hasil Pertanian, Departemen Pertanian. Jakarta.
- [4] Dokumen Intern PT. Perkebunan Nusantara (Persero). 2009. Buku Panduan Pedoman Operasional Pengolahan Kelapa Sawit (Bagian Pengolahan). Medan, Sumatera Utara.
- [5] Emmoy, Ivan. 2013. Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit. <https://ivanemmoy.wordpress.com/2013/11/29/kelistrikan-kelapa-sawit/>
- [6] Inayah, Tisah Afiatul. 2013. Audit Energi Pada Proses Produksi CPO (*Crude Palm Oil*) Di PMKS PT. Condong Garut, Jawa Barat. *Skripsi*. Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- [7] Kurnia, Angga, dkk. 2015. Proses Pembuatan Minyak Kelapa Sawit Di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Adolina Perbaungan-Sumatera Utara. Laporan Kerja Praktek. Jurusan Teknik Mesin, STTH. Medan.
- [8] Kusuma, Indra Permata. 2011. Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di Kalimantan Selatan (Studi Kasus Kabupaten Tanah Laut). *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas

- Teknologi Industri, ITS. Surabaya.
- [9] Loekito, Henry. 2002. Teknologi Pengelolaan Limbah Industri Kelapa sawit. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 3, No. 3.
- [10] Marsudi, Djiteng. 2005. Pembangkitan Energi Listrik. Erlangga. Jakarta.
- [11] Mustikaningsih, Ika Sapto. 1996. Analisis Konsumsi Energi Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) Kertajaya, PTP. XI, Banten Selatan. *Skripsi*. Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- [12] Saragih, Riyan Pratama. 2014. Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar Boiler Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS) Sei Mengke. *Skripsi*. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UMSU. Medan.
- [13] Sekretariat Jendral Perindustrian. 2007. Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit. Departemen Perindustrian. Jakarta Selatan.
- [14] Sunarwan, Bambang dan Riyadi Juhana. 2013. Pemanfaatan Limbah Sawit Untuk Bahan Bakar Energi Baru Dan Terbarukan (EBT) (Studi Kasus: Limbah Produksi Sawit Daerah Kabupaten Boven Digonel Papua). Jurnal Tekno Insentif Kopwil 4, Volume 7, No. ISSN: 1907-4964, halaman 1 s.d. 14.
- [15] Suyitno. 2011. Pembangkit Energi Listrik. Rineke Cipta. Jakarta.
- [16] _____. 2012. Ketel Uap Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit. <http://belajarsawit.blogspot.com/2012/12/ketel-uap-boiler-di-pabrik-kelapa-sawit.html>