

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Perkembangan ini memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Meningkatnya perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia, akan meningkatkan produktivitas pengolahan produk utama kelapa sawit, yang juga berdampak pada tingginya produk samping dan limbah yang dihasilkan. Kelapa sawit menghasilkan biomassa sawit berupa cangkang, serat buah, limbah cair kelapa sawit dan tandan kosong kelapa sawit. Limbah padat kelapa sawit banyak mengandung bahan organik dengan kadar yang tinggi sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan. Penanganan limbah padat yang tidak tepat dapat mencemari lingkungan, sehingga berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomi dan guna limbah padat kelapa sawit. Limbah kelapa sawit merupakan bagian dari sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit diluar dari produk utama hasil ikutan pengolahan kelapa sawit. Dalam pengolahan 1 ton tandan buah segar kelapa sawit dapat menghasilkan banyak produk samping dari hasil olahan kelapa sawit.

Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang sebanyak 6,5% atau 65 kg, lumpur sawit 4% atau 40 kg, serabut 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50%. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan oleh perkebunan kelapa sawit. Namun hingga saat ini, pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit belum digunakan secara optimal. Melihat perkembangan areal perkebunan kelapa sawit yang diikuti dengan pembangunan pabrik yang cukup pesat tentunya akan mempengaruhi lingkungan sekitar terutama lingkungan badan penerima limbah. Untuk mengurangi dampak negatif pabrik pengolahan kelapa sawit yang mengacu pada undang-undang No. 4 tahun 1982 dan peraturan pemerintah maka pengendalian limbah pabrik kelapa sawit harus dilakukan dengan baik. Pengendalian limbah pabrik kelapa sawit

dapat dilakukan dengan cara pemanfaatan, pengurangan volume limbah dan pengawasan mutu limbah.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan dalam rangka memanfaatkan limbah padat kelapa sawit dengan sangat baik adalah dengan cara menggunakan kembali limbah padat kelapa sawit sebagai bahan bakar untuk *boiler*. Ini merupakan suatu program baik dalam memilih dan memprioritaskan jenis bahan bakar yang akan digunakan, serta bisa menjadi pembanding untuk melihat pemanfaatan tersebut terhadap laba yang akan diperoleh perusahaan. Salah satu perusahaan yang memiliki potensi untuk pemanfaatan tepat guna limbah padat kelapa sawit menuju keunggulan pengurangan limbah padat kelapa sawit, agar menghasilkan profit yang dapat diperoleh pabrik dari sektor industri perkelapa sawitan adalah perusahaan swasta di daerah Sinunukan IV, Mandailing Natal.

PT. Sago Nauli merupakan salah satu perusahaan kelapa sawit yang terletak di Desa Sinunukan IV, Kecamatan Sinunukan, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara. PT. Sago Nauli merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak dibidang pengolahan kelapa sawit yang menghasilkan minyak mentah dan inti kelapa sawit dengan kapasitas olah 45 ton TBS/jam. Bahan baku yang digunakan yaitu tandan buah segar yang berasal dari buah inti perusahaan, buah plasma milik warga, buah warga, dan buah kontrak milik perusahaan lain. Selain menghasilkan minyak mentah dan inti kelapa sawit PT. Sago Nauli juga menghasilkan limbah kelapa sawit berupa, cangkang, serabut, limbah cair dan tandan kosong kelapa sawit. PT. Sago Nauli juga memanfaatkan limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar untuk *boiler* yang berbentuk serabut buah dan cangkang kelapa sawit. Selain serabut buah dan cangkang, PT. Sago Nauli juga memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar setelah melalui proses pengepresan dengan menggunakan alat *bunch press*.

Mengingat ketersediaan limbah padat kelapa sawit yang cukup melimpah sebagai produk samping dari proses pengolahan, membuat PT. Sago Nauli memanfaatkan limbah padat kelapa sawit serta tandan kosong kelapa sawit yang telah berbentuk serabut sebagai pemasok bahan bakar untuk *boiler*. Walau dengan berbagai alasan keuntungan dan banyaknya manfaat yang dapat diperoleh dari

penggunaan limbah padat kelapa sawit, masih banyak hal yang perlu diperhatikan demi keberlangsungan tetap berjalannya suatu organisasi perusahaan. Seperti halnya dengan mempertimbangkan usia dari berdirinya PT. Sago Nauli yang masih terkategori sangat muda, sehingga perlu melakukan beberapa perbaikan dan perancangan lebih baik untuk keberlangsungan berjalannya perusahaan. Perusahaan masih harus membenahi dan merapikan organisasi sembari dengan melakukan beberapa pengembangan usahanya. Beberapa permasalahan yang sedang dihadapi masih memerlukan pengembangan terutama untuk memperhatikan pengolahan dan pemanfaatan limbah padat kelapa sawit dalam kegunaannya sebagai bahan bakar untuk *boiler* agar bisa memperoleh profit yang lebih optimal serta keekonomisan limbah padat kelapa sawit bagi PT. Sago Nauli. Berbagai pengembangan yang hendak di lakukan di PT. Sago Nauli perlu adanya ketepatan dalam pengambilan keputusan dan langkah dalam pemanfaatan limbah tersebut.

Bertolak dari masalah tersebut penulis ingin mencoba untuk melakukan:

“Analisa Penentuan Prioritas Bahan Baku untuk Bahan Bakar *Boiler* dengan Menggunakan Metode *Analytica Hierarchy Process* di PT. Sago Nauli”

1.2 Rumusan Masalah

Pengambilan keputusan memang merupakan kerja manajemen pada setiap fungsinya. Pengambilan keputusan harus tepat dan memiliki informasi yang akurat sehingga dapat di pertanggungjawabkan. Seperti yang terpapar pada latar belakang penelitian hendaknya dapat dirangkum bentuknya sehingga pihak yang terkait untuk merencanakan pelaksanaannya dapat membuat keputusan yang tepat. Sehubungan dengan permasalahan diatas, maka pokok permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini bagaimana pengambilan keputusan dalam menentukan prioritas penggunaan bahan bakar untuk *boiler* dari limbah padat kelapa sawit?

1.3 Tujuan Penelitian dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengambil keputusan dalam menentukan prioritas limbah padat kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler* di PT. Sago Nauli, yang di analisis dengan menggunakan metode Proses Hirarki Analitik yaitu:

1. Untuk mempelajari bagaimana metode proses hirarki analitik ini dapat digunakan sebagai pengambilan keputusan dalam penentuan prioritas pemilihan bahan bakar *boiler* dari limbah padat kelapa sawit di PT. Sago Nauli.
2. Untuk mengetahui kriteria terbaik dari setiap alternatif yang dijadikan sebagai bahan bakar untuk *boiler*.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

3. Memberikan evaluasi terhadap pemilihan bahan baku yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler* di masa yang lalu.
4. Dapat melakukan analisis profitabilitas dalam pengolahan kembali limbah hasil pengolahan kelapa sawit.

1.4 Batasan Masalah

Setiap mengambil keputusan akan selalu berhadapan dengan pilihan yang sangat banyak, yang dipengaruhi dari faktor eksternal maupun internal keputusan itu sendiri. Salah satu yang paling menyulitkan dalam mengambil keputusan adalah ketidakpastian. Hal ini dapat diketahui dengan pasti di masa akan mendatang.

Dalam penelitian ini, peneliti membatasi masalah penentuan prioritas bahan baku untuk bahan bakar *boiler* di PT. Sago Nauli dengan,

1. Studi ini tidak membahas secara mendalam hal-hal yang bersifat teknik pengolahan kelapa sawit karena solusi akhir yang diperoleh adalah urutan prioritas bahan baku untuk bahan bakar *boiler*.
2. Studi ini hanya membahas proses penentuan prioritas bahan baku limbah padat kelapa sawit untuk bahan bakar *boiler*.

Proses pemecahan masalah ini diharapkan dapat dijadikan acuan bagi

3. pemilihan bahan baku yang paling menguntungkan dalam pemanfaatan limbah kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler*.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk menggambarkan secara garis besar batas dan luasnya penelitian, maka berikut ini diberikan suatu gambaran ringkas tentang sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan skripsi adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang beberapa teori mengenai penentuan prioritas dari pemanfaatan limbah padat kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan bakar boiler dengan mengambil keputusan menggunakan metode proses hirarki analitik

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini terdiri dari bagaimana cara yang akan digunakan dalam memecahkan masalah yang ada dalam penelitian berupa langkah-langkah yang terdiri dari jenis penelitian, variable penelitian, data dan sumber data, teknik pengumpulan data, teknik pengolahan data serta teknik analisis data.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bab ini membahas tentang pengumpulan data yang diperoleh dan yang diperlukan dalam pemecahan masalah serta pembahasan tentang hasil-hasil analisa dari data yang diperoleh di tempat penelitian.

BAB V ANALISA DAN EVALUASI

Pada bab ini menguraikan tentang analisa dan evaluasi tentang penentuan prioritas bahan baku yang digunakan untuk bahan bakar *boiler* dengan menggunakan metode proses hirarki analitik.

BAB VI KESIMPULAN

Dalam bab terakhir ini dibahas tentang kesimpulan-kesimpulan yang merupakan pernyataan singkat dan tepat yang dijabarkan dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit menghasilkan buah yang disebut dengan tandan buah segar, setelah diolah, tandan buah segar akan menghasilkan minyak. Ayustaningwarno (2012) menyatakan pengolahan kelapa sawit agar menghasilkan minyak kasar kelapa sawit dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu penerimaan buah segar kelapa sawit, perebusan, perontokan, pelumatan, ekstraksi minyak dan klarifikasi.

1. Penerimaan Tandan Buah Segar

Tandan buah segar dikelola dengan baik untuk menghindari kerusakan pada buah yang dapat menyebabkan rendahnya kualitas minyak yang dihasilkan.

2. Perebusan

Perebusan dilakukan menggunakan uap pada tekanan 3 kg/cm^3 pada suhu $143 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Proses ini dilakukan untuk mencegah naiknya jumlah asam lemak bebas karena reaksi enzimatik, mempermudah perontokan buah, dan mengkondisikan inti sawit untuk meminimalkan pecahnya inti sawit selama pengolahan berikutnya.

3. Perontokan

Tujuan dari perontokan adalah memisahkan buah yang sudah direbus dari tandannya. Perontokan dilakukan dengan penggoyang yang cepat dan pembantingan.

4. Pelumatan

Pelumatan dilakukan untuk memanaskan kembali buah atau berondolan, memisahkan daging buah dengan inti, dan memecah sel minyak sebelum mengalami ekstraksi. Kondisi terbaik pelumatan pada suhu $95\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 20 menit.

5. Ekstraksi Minyak

Ekstraksi minyak biasanya dilakukan dengan mesin press akan menghasilkan dua produk yaitu campuran antara air, minyak, padatan, dan *cake* yang mengandung serat dan inti.

6. Klarifikasi

Minyak kasar hasil ekstraksi akan memiliki komposisi 60% minyak, 24% air, dan 10% padatan bukan minyak. Karena kandungan padatannya cukup tinggi, maka harus dilarutkan dengan air untuk mendapatkan pengendapan yang diinginkan. Setelah dilarutkan, minyak kasar disaring untuk memisahkan bahan berserat. Produk kemudian diendapkan untuk pemisahan minyak dan endapan. Minyak pada bagian atas diambil dan dilewatkan pada pemurnian sentrifugal yang diikuti oleh pemurnian vakum. Selanjutnya didinginkan sebelum disimpan dalam tangki penyimpanan (Ayustaningwarno, 2012).

2.2 Limbah Kelapa Sawit

Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012). TKKS mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, antara lain: 42,8% C, 2,9% K₂O, 0,8% N, 0,22% P₂O₅, 0,30% MgO, 23 ppm Cu, dan 51 ppm Zn (Singh dkk., 1989). Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit (Padil, 2010). Cangkang sawit merupakan limbah dari hasil pengolahan minyak kelapa sawit yang belum dimanfaatkan secara optimal (Yarman, 2006). Sabut kelapa sawit mengandung nutrient, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah (Haryanti et al., 2014).

Limbah padat yang keluar dari PKS meliputi tandan kosong (tankos) dengan persentase sekitar 23% terhadap TBS, abu *boiler* (sekitar 0.5% terhadap TBS), serat (sekitar 13.5% terhadap TBS) dan cangkang (sekitar 5.5% terhadap TBS). Limbah padat yang keluar dari PKS umumnya tidak memerlukan penanganan yang rumit. Limbah padat dapat digunakan lagi sebagai bahan bakar, pupuk, pakan ternak, dan juga bisa dijual untuk menghasilkan pendapatan tambahan. Serat, cangkang dan tankos bisa digunakan sebagai bahan bakar. Abu

boiler dapat diaplikasikan langsung sebagai sumber pupuk kalium, tankos sebagai pupuk dengan cara menjadikan mulsa dan pengomposan. Ampas inti digunakan sebagai pakan ternak

Terdapat dua sumber pencemaran gas yang keluar dari PKS yaitu boiler yang menggunakan serat dan cangkang sebagai bahan bakar dan juga *incinerator* yang membakar tankos untuk mendapatkan abu kalium. Pada saat ini *incinerator* sudah mulai ditinggalkan. Limbah yang menjadi perhatian di PKS adalah limbah cair atau yang lebih dikenal dengan POME (*palm oil mill effluent*). POME ialah air buangan yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit utamanya berasal kondensat rebusan, air hidrosiklon, dan sludge separator. Setiap ton TBS yang diolah akan terbentuk sekitar 0,6 hingga 1 m³ POME. POME kaya akan karbon organik dengan nilai COD lebih 40 g/L dan kandungan nitrogen sekitar 0,2 dan 0,5 g/L sebagai nitrogen ammonia dan total nitrogen. Sumber POME berasal dari unit pengolahan yang berbeda, terdiri dari:

- 60% dari total POME berasal dari stasiun klarifikasi
- 36% dari total POME berasal dari stasiun rebusan
- 4 % dari total POME berasal stasiun inti.

Dalam proses pengolahan tandan buah segar di pabrik kelapa sawit selalu menghasilkan produk dan limbah. Adapun produk yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar yaitu minyak sawit mentah dan minyak inti sawit, sedangkan limbah yang dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar adalah sebagai berikut:

a. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Limbah ini dapat dihasilkan dari tandan brondolan yaitu tandan buah segar yang terlalu matang yang buahnya terlepas dari tandannya saat masih berada di perkebunan, keadaan tandannya kering serta di pabrik pengolahan kelapa sawit adalah hasil proses *sterilising* dan *thresing* dengan keadaan tandan basah. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bentuk tandan kosong kelapa sawit.



Gambar 2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Sumber: PT. Sago Nauli

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah utama dari industri pengolahan kelapa sawit. Basis satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah akan dihasilkan minyak sawit kasar (CPO) sebanyak 0,21 ton (21%) serta minyak inti sawit (PKO) sebanyak 0,05 ton (5%) dan sisanya merupakan limbah dalam bentuk tandan buah kosong, serat, dan cangkang biji yang jumlahnya masing-masing 23%, 13,5%, dan 5,5% dari tandan buah segar (Darnoko cit Anwar, 2008).

Untuk mengatasi penumpukan limbah padat tandan kosong kelapa sawit perlu dilakukan penanganan salah satunya yaitu dengan menggunakan teknologi daur ulang limbah padat menjadi produk pupuk organik/kompos yang bernilai guna tinggi. Pengomposan dianggap sebagai teknologi berkelanjutan karena bertujuan untuk konservasi lingkungan, keselamatan manusia, dan pemberi nilai ekonomi.

Penggunaan kompos membantu konservasi lingkungan dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia yang dapat menyebabkan degradasi lahan. Pengomposan secara tidak langsung juga membantu mencegah pembuangan limbah organik dan penumpukan limbah

organik. Penanganan serius terhadap limbah padat yang dihasilkan dari industri kelapa sawit ini mutlak diperlukan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan limbah padat tersebut menjadi pupuk kompos (Warsito et al., 2017).

b. Serabut

Serabut (*mesocarp fiber*) merupakan Limbah yang dihasilkan dari ekstraksi minyak sawit yang diproduksi setelah tandan kosong mengalami penekanan di sebuah tabung bertekanan dan mesin penampi dan mesin depericarper. Dari setiap TBS yang diolah akan dihasilkan 13% serabut dari setiap berat TBS yang diolah (Harun dan Muammar Saputra, 2015).

serabut merupakan komponen yang cukup banyak dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit, baik di Indonesia maupun di Malaysia. Propinsi Sulawesi Barat khususnya daerah Mamuju merupakan salah satu daerah penghasil kelapa sawit, dimana limbahnya belum dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat dan pemerintah. Selama ini limbah sabut dan cangkang dimanfaatkan sebagai bahan pengeras jalan, pembuatan pupuk, arang aktif, dan kerajinan tangan. (Jalali, 2017)



Gambar 2.2 Serabut

Sumber: PT. Sago Nauli

c. Cangkang

Cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*) yang dihasilkan dari pemisahan inti sawit dengan cangkangnya. Inti sawit diproses lebih lanjut untuk menghasilkan minyak inti sawit (Palm kernel oil) yang berharga. Cangkang biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan serabut sawit aktif. Dari setiap TBS yang diolah akan dihasilkan 6,5% cangkang dari setiap berat TBS yang diolah. Hasil uji laboratorium terhadap limbah TKKS di Distrik Jair, Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua memiliki jumlah kalor sebesar 4.492,7436 kalori/g (4.492,7436 Kkal/kg) atau 18.719,4656 joule/g serta mengandung pati 11,550 % bb dan mengandung selulosa 41,392 % bb, sangat cocok untuk dijadikan menjadi dua

jenis bahan bakar tersebut. Bahkan TKKS yang dihasilkan di Distrik Jair Kabupaten Boven Digoel Provinsi Papua diperhitungkan akan dapat membangkitkan listrik sebesar 7,33 MW (Harun dan Muammar Saputra, 2015). Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bentuk dari cangkang.



Gambar 2.3 Cangkang
Sumber: PT. Sago Nauli

2.3 *Bunch Press dan Bunch Hopper*

Empty Bunch press merupakan unit mesin yang berfungsi untuk pengepresan, mencacah, atau menghancurkan tandan kosong, sehingga dari pengepresan dan pencacahan tandan kosong tersebut dihasilkan serabut dan minyak, yang kemudian minyak yang masih terperangkap dalam janjangan kosong yang keluar akibat pengepresan dapat dikutif kembali dan tidak terbuang dengan sia-sia. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat bentuk dari alat *bunch press*.



Gambar 2.4 *Bunch Press*
Sumber: PT. Sago Nauli

PT. Sago Nauli memiliki 4 buah mesin *bunch press*. Pada *bunch press* ini memiliki batas operasional tekanan sebesar 150 A, jika tekanan melebihi 150 A maka akan merusak kinerja mesin *bunch press*, sedangkan jika tekanan kurang dari 150 A maka akan mengakibatkan *empty bunch* banyak melewati *bunch press*. Jika *empty bunch* banyak melewati *bunch press* maka *empty bunch* tersebut akan di tampung pada *bunch hopper*. *Bunch hooper* merupakan alat yang mengangkat janjang kosong yang terlewat dari *bunch press* akibat tekanan mesin *bunch press* yang berlebih dan kemudian janjangan kosong tersebut akan di kembalikan ke *bunch press* untuk di *press* kembali agar menghasilkan minyak dan menghasilkan serabut, yang kemudian serabut akan digunakan sebagai bahan bakar *boiler* (Dinata dkk, 2019). Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bentuk dari serabut tandan kosong.



Gambar 2.5 Serabut Tandan Kosong
Sumber: PT. Sago Nauli

2.4 Boiler

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas dari uap panas keluaran *boiler* tersebut selanjutnya untuk keperluan berbagai macam, digunakan untuk pemanas ruangan, turbin uap, dan berbagai kebutuhan penunjang produksi di pabrik, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, *boiler* juga mempunyai fungsi mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar pada ruang bakar, menjadi energi panas yang ditransfer ke fluida kerja. (Priyanto & Wilastari, 2022).

Faktor penyebab menurunnya kinerja boiler pipa api di adalah :

- a. Kurangnya air pengisian
- b. karat yang berdampak pada kebocoran
- c. Kualitas bahan bakar
- d. Kualitas Air Pengisi

Terdapat jenis boiler berdasarkan bahan bakar yang digunakan yaitu menggunakan gas, minyak, LPG dan biomassa. Selain itu, berikut ini akan dijelaskan jenis *boiler*.

1. *Water Tube Boiler*

Dalam ketel tabung air, air umpan ketel mengalir melalui tabung ke dalam drum. Gas bahan bakar memanaskan air yang bersirkulasi, menyebabkan uap terbentuk di area uap drum. Ketel ini dipilih pada saat kebutuhan uap dan tekanan uap sangat tinggi, seperti pada ketel listrik. Ketel tabung air canggih dirancang untuk produksi uap 4.500-12.000 kg/jam pada tekanan sangat tinggi. Banyak *boiler* tabung air dibangun dalam bundel ketika bahan bakar minyak dan gas digunakan. Bukan kebiasaan merancang paket untuk *boiler* pipa air yang menggunakan bahan bakar padat.

2. *Fire Tube Boiler*

Dalam *fire tube boiler*, gas panas mengalir melalui tabung dan air umpan ketel berada di dalam selubung untuk diubah menjadi uap. *Boiler* ini umumnya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil pada tekanan *steam* rendah atau sedang. Sebagai panduan, boiler tabung api dengan laju uap hingga 12.000 kg/jam dan tekanan hingga 18 kg/cm² adalah kompetitif. Jenis ini dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat untuk pengoperasiannya. Untuk alasan ekonomi, sebagian besar boiler tabung api dibangun sebagai boiler “paket” (dipasang pabrik) untuk semua bahan bakar.

3. Paket *Boiler*

Boiler yang satu ini disebut paket lengkap, karena dalam isinya sudah tersedia berbagai pilihan. Sehingga saat alat ini dikirim ke pabrik, hanya perlu menyiapkan saluran uap, saluran air, pasokan bahan bakar, dan sambungan listrik.

Selanjutnya, bejana tertutup ini siap beroperasi. Paket *boiler* biasanya struktur *header tipe shell* dan *tube* dengan perpindahan panas yang tinggi baik secara radiasi maupun konveksi.

Pemanfaatan cangkang dan serat kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler. Penelitian ini langsung dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit. Boiler yang digunakan adalah jenis water tube boiler dengan kapasitas uap 20 ton/jam dan tekanan kerja maksimal 19 kg/cm². Perbandingan bahan bakar cangkang dan serat kelapa sawit yang digunakan adalah 1 : 3 yaitu 25% cangkang dan 75% serat.

Dalam pabrik kelapa sawit Ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana ketel uap menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. disini kita akan membahas sedikit tentang ketel uap yang digunakan dalam pabrik kelapa sawit. Sebelum kita membahas ketel uap yang digunakan dipabrik kelapa sawit, ada baiknya kalau kita mengetahui dahulu apa itu ketel uap dan berfungsi sebagai apa. 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 (Nusantara & Area, 2019).

2.5 Bahan Bakar

Alamsyah (2009); Almu dkk, (2014) menyatakan bahwa bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi, biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran atau disebut dengan reaksi redoks di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Ditinjau dari segi teknis dan ekonomi, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk mendapatkan kalor yang dapat digunakan secara langsung maupun tidak langsung. Bahan bakar konvensional ditinjau dari keadaannya dan wujudnya dapat berupa gas, padat dan cair. Berikut klasifikasi bahan bakar yang digunakan didalam *boiler* pada umumnya:

a. Bahan bakar padat

Jenis *boiler* ini menggunakan bahan padat seperti batu bara, kayu, cangkang, dengan karakteristik seperti harga bahan bakar relative lebih murah dan lebih efisiensi bila dibandingkan dengan *boiler* listrik.

Prinsip Kerja : Pemanasan bersumber dari pembakaran bahan bakar padat atau bisa juga campuran dari beberapa bahan bakar padat seperti batu bara, kayu, kernel yang dibantu dengan oksigen.

Kelebihan : Bahan bakar mudah untuk didapatkan dan lebih murah serta sebagai pemanfaatan limbah pada inti.

Kekurangan : Sisa pembakaran sulit untuk dibersihkan.

b. Bahan bakar cair

Jenis ini memiliki bahan bakar dari Fraksi minyak bumi dengan karakteristik yaitu memiliki bahan baku pembakaran yang lebih mahal, tetapi memiliki nilai efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan yang lainnya.

Prinsip Kerja : Pemanasan yang bersumber dari hasil pembakaran antara campuran bahan bakar cair seperti kerosen, solar, residu) dengan oksigen dan sumber panas.

Kelebihan : Memiliki sisa pembakaran yang sedikit sehingga mudah dibersihkan dan bahan baku yang mudah didapatkan

Kekurangan : Harga bahan baku yang relatif mahal.

c. Bahan bakar gas

Memiliki jenis bahan bakar gas dengan karakteristik bahan baku yang lebih murah dan nilai efisiensi lebih baik jika dibandingkan dengan jenis tipe bahan bakar lain.

Prinsip Kerja : Pembakaran yang terjadi akibat campuran dari bahan bakar gas dengan oksigen serta sumber panas.

Kelebihan : Memiliki bahan bakar yang paling murah dan nilai efisiensi yang lebih baik.

Kekurangan : Kontruksi yang mahal dan sumber bahan bakar yang sulit di dapat.

Pada umumnya *boiler* pada pabrik kelapa sawit menggunakan bahan bakar padat buatan yang mudah diperoleh, dan ekonomis yaitu seperti serabut dan cangkang kelapa sawit, bila dibandingkan dengan bahan bakar lainnya (Parinduri et al., 2019).

Sedangkan ditinjau dari cara terjadinya dapat alamiah dan non alamiah. Jenis bahan bakar yang banyak digunakan merupakan bahan bakar alamiah, seperti yang banyak digunakan di industri pengolahan kelapa sawit yang menggunakan bahan bakar hasil limbah padat olahan pabrik kelapa sawit, berupa tandan kosong, serabut, dan cangkang. Pembakaran batubara peringkat rendah, biomassa dan campuran keduanya telah banyak dilakukan di seluruh dunia. Biomassa yang digunakan pun sangat beragam mulai dari limbah kayu, jerami, sekam padi, ampas tebu, lumpur kering, limbah padat kota, limbah industri minuman/makanan, dan lain-lain(Siswanto, 2020)

2.6 Analytical Hierarchy Process

Proses penilaian terhadap naskah merupakan standar penerbitan yang merupakan sarana untuk memperlancar proses penerbitan secara optimal. Penelitian ini dilatar belakangi oleh permasalahan terkait dengan efisiensi dan keefektifitas pada pengelolaan penilaian administratif naskah yang dilakukan oleh penilai dan terkait munculnya masalah dalam proses penentuan bobot dan evaluasi terhadap naskah serta adanya kendala terkait subjektivitas berupa penilaian bobot kriteria dan subkriteria, ambiguitas proses evaluasi naskah, kecepatan dan ketepatan agregasi antara bobot kriteria hasil dan evaluasi untuk mendapatkan prioritas naskah. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah model yang dapat menggambarkan seluruh sistem komputerisasi yang dapat mendukung dalam proses pengambilan keputusan. Sistem pendukung keputusan dengan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP) ini melakukan penilaian pada setiap naskah dengan ragam kriteria dan nilai bobot(Ekastini et al., 2017).

Sumber kerumitan masalah pengambilan keputusan bukan hanya ketidakpastian atau ketidak sempurnaan informasi. Penyebab lainnya adalah faktor yang berpengaruh terhadap pilihan-pilihan yang ada, beragamnya kriteria, pemilihan dan jika pengambilan keputusan lebih dari satu pilihan. Di dalam games theory dibahas masalah keputusan jika sumber kerumitannya ketidaksempurnaan informasi dan adanya lebih dari satu pengambilan keputusan yang sedang bersaing. Jika sumber kerumitan itu adalah beragamnya kriteria, maka Analytical

Hierarchy Process (AHP) merupakan teknik untuk membantu menyelesaikan masalah ini. AHP diperkenalkan oleh Thomas L. Saaty pada priode 1971-1975 ketika di Wharton School. Dalam perkembangannya, AHP tidak saja digunakan untuk menentukan prioritas pilihan-pilihan dengan banyak kriteria, tetapi penerapannya telah meluas sebagai model alternatif untuk menyelesaikan bermacam-macam masalah; seperti memilih portfolio, analisis manfaat biaya, peramalan dan lain-lain. Pendeknya, AHP menawarkan penyelesaian masalah keputusan yang melibatkan seluruh sumber kerumitan seperti yang didefenisikan diatas. Hal ini dimungkinkan karena AHP cukup mengandalkan pada intuisi sebagai input utamanya, namun intuisi harus datang dari pengambilan keputusan yang cukup informasi dan memahami masalah keputusan yang dihadapi. Pada dasarnya, AHP adalah suatu teori umum tentang pengukuran. Ia digunakan untuk menemukan skala rasio baik dari perbandingan pasangan yang diskrit maupun kontinyu. Perbandingan-perbandingan ini dapat diambil dari ukuran aktual atau dari suatu skala dasar yang mencerminkan kekuatan perasaan dan prefensi relatif. AHP memiliki perhatian khusus tentang penyimpangan dari konsistensi, pengukuran dan pada keteragantungan di dalam dan diantara kelompok elemen strukturnya(Latifah, 2015).

A. Kerangka Pemikiran

Hirarki masalah disusun untuk membantu proses pengambilan keputusan dengan memperhatikan seluruh elemen keputusan yang terlibat dalam sistem. Sebagian besar masalah menjadi sulit untuk diselesaikan karena proses pemecahannya dilakukan tanpa memandang masalah sebagai suatu sistem dengan suatu truktur tertentu.

1. Comparative Judgement

Comparative Judgement dilakukan dengan penilaian tentang kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkatan diatasnya. Dengan prinsip ini akan dibangun perbandingan berpasangan dari semua elemen yang ada dengan tujuan menghasilkan skala kepentingan relatif dari elemen. Penilaian ini merupakan inti dari *Analytical Hierarchy Process* karena akan berpengaruh terhadap urutan prioritas dari elemen-elemennya. Penilaian ini menghasilkan skala penilaian yang berupa angka. Perbandingan

berpasangan dalam bentuk matriks jika dikombinasikan akan menghasilkan prioritas. Menurut Saaty (1993) untuk berbagai persoalan, skala 1 sampai 9 adalah skala terbaik untuk mengekspresikan pendapat. Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan. Skala penilaian 1 yang menunjukkan tingkat yang paling rendah hingga skala 9 yang menunjukkan tingkatan paling tinggi.

Tabel 2.1 Skala Banding Secara Berpasangan

Intensitas Pentingnya	Definisi	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Dua elemen menyumbang sama besar pada sifat itu
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting ketimbang yang lainnya	Pengalaman dan pertimbangan sedikit menyokong satu elemen atas yang lainnya
5	Elemen yang satu esensial atau sangat penting ketimbang elemen yang lainnya	Pengalaman dan pertimbangan dengan kuat menyokong satu elemen atas elemen yang lainnya
Intensitas Pentingnya	Definisi	Penjelasan
7	Satu elemen jelas lebih penting dari elemen yang lainnya	Satu elemen dengan kuat disokong, dan dominannya telah terlihat dalam praktik
9	Satu elemen mutlak lebih penting ketimbang elemen yang lainnya	Bukti yang menyokong elemen yang satu atas yang lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2,4,6,8	Nilai-nilai antara di antara dua pertimbangan yang berdekatan	Kompromi diperlukan antara dua pertimbangan
Kebalikan	Jika untuk aktivitas I mendapat satu angka bila dibandingkan dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai kebalikannya bila dibandingkan dengan i	

Sumber: Thomas (1993)

2. Menetapkan Prioritas

Langkah pertama dalam menetapkan prioritas elemen-elemen dalam atau persoalan keputusan adalah dengan membuat perbandingan berpasangan, yaitu elemen-elemen dibandingkan berpasangan terhadap suatu kriteria yang ditentukan. Untuk perbandingan berpasangan ini, matriks merupakan bentuk yang lebih disukai. Matriks merupakan alat yang

sederhana dan bisa dipakai dan memberi kerangka untuk menguji konsistensi, memperoleh informasi tambahan dengan jalan membuat segala perbandingan yang mungkin, dan menganalisis kepekaan prioritas menyeluruh terhadap perubahan dalam pertimbangan. Ancangan matriks ini mencerminkan dwi segi prioritas: mendominasi dan didominasi (Saaty, 1993).

Proses perbandingan berpasangan ini dimulai pada puncak hirarki untuk memilih kriteria C, atau sifat, yang akan digunakan untuk melakukan perbandingan yang pertama. Lalu dari tingkat tepat dibawahnya, ambil elemen- elemen yang akan dibandingkan : A1, A2, A3, dan sebagainya. Katakanlah ada tujuh elemen. Susunan elemen-elemen ini pada sebuah matriks seperti pada gambar 2.6.

C	A1	A2	...	A7
A1	1			
A2		1		
...				
...				
A7				1

Gambar 2.6 Contoh Matriks untuk perbandingan Berpasangan

Dalam matriks ini, dibandingkan elemen A1 dalam kolom di sebelah kiri dengan elemen A1, A2, A3 dan seterusnya yang terdapat dibaris atas berkenaan dengan sifat C di sudut kiri atas. Lalu ulangi dengan elemen A2 dan seterusnya.

Untuk mengisi matriks banding berpasangan itu, digunakan bilangan untuk menggambarkan relative pentingnya suatu elemen diatas yang lainnya. Tabel 2.1 memuat skala banding berpasang. Skala itu mendefinisikan dan menjelaskan nilai 1 sampai dengan 9 yang ditetapkan bagi pertimbangan dalam membandingkan pasangan elemen yang sejenis disetiap tingkat hirarki terhadap suatu kriteria yang berada setingkat diatasnya.

Untuk memperoleh perangkat prioritas menyeluruh bagi suatu persoalan keputusan, kita harus menyatu dan mensintesiskan pertimbangan yang

dibuat dalam melakukan perbandingan berpasangan.

Synthesis of Priority dilakukan dengan *eigen vector method* untuk mendapatkan bobot relatif bagi unsur – unsur pengambilan keputusan atau dengan kata lain dengan mengalikan prioritas lokal dengan prioritas dari kriteria yang bersangkutan di level atasnya dan menambahkannya ketiap elemen dalam level yang dipengaruhi kriteria. Hasilnya berupa gabungan atau dikenal dengan prioritas global yang kemudian digunakan untuk memberikan bobot prioritas lokal dari elemen di level terendah sesuai dengan kriterianya.

3. *Logical Consistency*

Logical consistency merupakan karakteristik penting *Analytical Hierarchy Process*. Hal ini dicapai dengan mengagresikan seluruh eigen vector yang diperoleh dari berbagai tingkatan hirarki dan selanjutnya diperoleh suatu vektor composite tertimbang yang menghasilkan urutan pengambilan keputusan.

Dalam persoalan pengambilan keputusan, mungkin penting untuk mengetahui betapa baiknya konsistensi kita, karena mungkin kita tidak mau keputusan itu didasarkan atas pertimbangan yang mempunyai konsistensi yang begitu rendah sehingga terlihat seperti pertimbangan acak.

Biasanya kita tidak bisa begitu pasti mengenai pertimbangan kita sehingga kita memaksakan konsistensi dalam matriks banding berpasang. Lebih baik kita banyak menebak perasaan atau pertimbangan kita dalam semua kedudukan matriks kecuali pada kedudukan diagonal, lalu memaksakan nilai kebalikannya di kedudukan transpose dan mencari suatu jawaban. Semua pengetahuan harus dimasukkan dalam lorong sempit diantara ketidak konsistensian yang dapat ditolerin dan konsistensi sempurna.

Matriks bobot yang diperoleh dari hasil perbandingan secara berpasangan tersebut harus mempunyai hubungan cardinal dan ordinal sebagai berikut:

Hubungan Kardinal : $a_{ij} , a_{jk} = a_{ik}$

Hubungan Ordinal : $A_i > A_j' > A_j > A_k'$ maka $A_i > A_k$

Hubungan diatas dapat dilihat dari dua hal sebagai berikut:

- a) Dengan melihat preferensi multiplikatif, misalnya bila susu lebih enak 4 kali dari teh, dan teh lebih enak 2 kali dari kopi, maka susu lebih enak 8

kali dari kopi.

- b) Dengan melihat *preferensi transitif*, misalnya susu lebih enak dari teh, dan teh lebih enak dari kopi, maka susu lebih enak dari kopi.

Pada kenyataan, akan terjadi beberapa penyimpangan dari hubungan tersebut, sehingga matriks tersebut tidak konsisten sempurna. Hal ini terjadi karena ketidak konsistenan dalam preferensi seseorang.

Dalam teori matriks diketahui bahwa kesalahan kecil pada koefisien akan menyebabkan penyimpangan kecil pula pada *eigen value*. Dengan mengkombinasikan apa yang telah diuraikan sebelumnya, jika diagonal utama dari matriks A bernilai satu dan jika A konsisten maka penyimpangan kecil dari A_{ij} akan tetap menunjukkan *eigen value* terbesar, λ_{maks} , nilainya akan mendekati n dan *eigen value* sisanya akan mendekati nol.

Penyimpangan dari konsistensi dinyatakan dengan indeks konsistensi dengan persamaan :

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1}$$

Dimana : λ_{maks} = *eigen value* maksimum

n = ukuran matriks

Indeks Konsistensi (CI), matriks random dengan skala penilaian (1 sampai dengan 9) beserta kebalikannya sebagai Indeks Random (RI). Berdasarkan perhitungan Saaty dengan menggunakan 500 sampel, jika “*judgment*” numeric diambil secara acak dari skala 1/9, 1/8, ..., 1, 2, ..., 9 akan diperoleh rata-rata konsistensi untuk matriks dengan ukuran yang berbeda, sebagai berikut:

Tabel 2.2 Nilai Indeks Random

Ukuran Matriks	Indeks Random
1,2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

Perbandingan antara CI dan RI untuk suatu matriks didefinisikan sebagai Rasio Konsistensi (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Saaty menetapkan bahwa penilaian suatu matriks perbandingan adalah konsisten bila $CR \leq 0.1$, sehingga hasil penilaian tersebut dapat diterima atau dipertanggungjawabkan. Jika tidak, maka pengambilan keputusan harus meninjau ulang masalah dan merevisi matriks berpasangan.

B. Kelebihan dan Kelemahan *Analytical Hierarchy Process*

Seperti semua metode analisis, *Analytical Hierarchy Process* juga memiliki kelebihan dan kelemahan dalam sistem analisisnya.

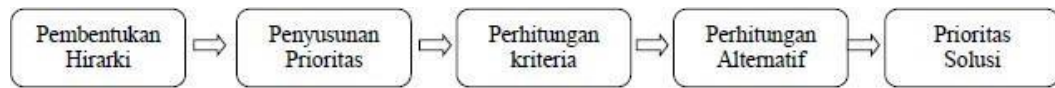
Kelebihan-kelebihan analisis ini adalah :

1. Struktur yang berhierarki sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih sampai pada sub-sub kriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai batas toleransi inkonsistensi sebagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh para pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan daya tahan atau ketahanan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

Sedangkan kelemahan metode *Analytical Hierarchy Process* adalah sebagai berikut :

1. Ketergantungan model *Analytical Hierarchy Process* pada input utamanya. Input utama ini berupa persepsi seorang ahli sehingga dalam hal ini melibatkan subyektifitas sang ahli. Selain itu juga model menjadi tidak berarti jika ahli tersebut memberikan penilaian yang keliru.
2. Metode *Analytical Hierarchy Process* ini hanya metode matematis tanpa pengujian secara statistik sehingga tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran model yang terbentuk.

Untuk mendapatkan keputusan yang rasional dengan menggunakan *Analytical Hierarchy Process*, perlu melakukan beberapa tahapan. Secara garis besar tahapan dalam *Analytical Hierarchy Process* sebagai berikut:



Gambar 2.7 Tahapan dalam *Analytical Hierarchy Process*

Sumber: Widuri

Tahapan – tahapan pengambilan keputusan dalam metode *Analytical Hierarchy Process* secara lebih rinci adalah sebagai berikut :

- 1) Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan. Tahap pertama ini bertujuan untuk menentukan masalah yang akan dipecahkan secara jelas, detail dan mudah dipahami. Dari masalah yang ada akan dapat menentukan solusi yang mungkin cocok bagi masalah yang sedang di hadapi.
- 2) Membuat struktur hirarki yang diawali dengan tujuan utama sebagai level teratas, dilanjutkan dengan kriteria-kriteria yang cocok untuk dipertimbangkan dan menilai alternatif - alternatif pilihan yang ingin di rangking. Tiap kriteria mempunyai intensitas yang berbeda-beda. Hirarki dilanjutkan dengan subkriteria (jika diperlukan).
- 3) Menilai bobot kriteria yang ada pada hirarki tersebut dengan cara membentuk matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif

atau pengaruh setiap elemen terhadap masing-masing tujuan kriteria yang setingkat diatas. Perbandingan dilakukan berdasarkan pilihan dari pembuat keputusan dengan menilai tingkat-tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan dengan elemen lainnya. Matriks yang digunakan bersifat sederhana dan berguna untuk mendapatkan informasi lain yang mungkin dibutuhkan dengan semua perbandingan yang mampu menganalisis kepekaan prioritas secara keseluruhan untuk perubahan pertimbangan.

4) Mendefinisikan perbandingan berpasangan dengan menentukan prioritas. Setelah hirarki dibuat, setiap elemen yang terdapat dalam hirarki harus diketahui bobot relatifnya satu sama lain.

2.7 Aspek Penilaian

a. Energi Panas

Energi berkaitan dengan komposisi dan besaran kekuatan yang terkandung dalam objek yang akan digunakan sebagai bahan bakar. Nilai kalor merupakan jumlah energi yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya pembakaran atau oksidasi kimia dari suatu bahan bakar. Nilai Kalor bahan bakar dapat diukur dengan menggunakan bom kalorimeter. Alat ini terdiri dari suatu wadah yang berbentuk silinder yang berisi cawan tempat pembakaran sampel bahan bakar pada tekanan atmosfer oksigen. Pada proses kerjanya bom kalorimeter ini dicelupkan kedalam suatu wadah yang berisi air yang telah diisolasi dan berlaku sebagai kalorimeter untuk panas yang dibebaskan pada saat pembakaran dimulai. Perubahan temperatur didalam air diukur dengan menggunakan termometer yang peka dan dengan mengetahui kapasitas termal dari alat ini maka panas yang dilepaskan dapat dihitung (Harun dan Muammar Saputra, 2015). Adapun yang menjadi perhatian dalam penggunaan limbah untuk dijadikan sebagai bahan baku untuk bahan bakar *boiler* terdiri dari cangkang, serabut buah, dan serabut tandan kosong.

Serabut buah adalah limbah sawit yang dihasilkan dari hasil pengolahan pemerasan buah sawit pada saat proses kempa yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan. Serabut bisa digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk *boiler* dan mempunyai nilai kalor sekitar 2637 kkal/kg-3998

kkal/kg. (Angky Puspawan, 2016) telah melakukan kajian tentang nilai kalor, didapatkan nilai kalor serabut buah sebesar 3872 kkal/kg. Harris (2013); Siswanto (2020) telah melakukan studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit didapatkan nilai kalor serabut sebesar 3500 kkal/kg.

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa namun berbentuk kecil. Cangkang mempunyai nilai kalor 3500 kkal/kg-4100 kkal/kg. (Angky Puspawan, 2016) Telah melakukan kajian tentang analisa nilai kalor cangkang kelapa sawit didapatkan nilai kalor 4580 kkal/kg. Harris (2013); Siswanto (2020) telah melakukan studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit didapatkan nilai kalor cangkang sebesar 4115 kkal/kg .

Serabut tandan kosong merupakan serabut yang dihasilkan dari alat pencacah tandan kosong, sehingga tandan kosong berubah menjadi ukuran yang lebih kecil berbentuk serabut, yang selanjutnya serabut tandan kosong tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar. Serabut tandan kosong memiliki nilai kalor bersih (CV) sebesar 3.974,38 cal/g, sedangkan dari nilai kalor kotor (Q) diperoleh nilai kalor yaitu untuk serabut tandan kosong sebesar 4.019,37 cal/gr(Dinata et al., 2019).

b. Profitabilitas

Lorenza (2015); Minanari (2018) menjelaskan bahwa profitabilitas adalah kemampuan perusahaan dalam memperoleh dalam hubungannya dengan penjualan, total aktiva, maupun modal sendiri. Laba tersebut diperoleh dari modal yang dimilikinya. Teori profitabilitas sebagai salah satu acuan dalam mengukur besarnya laba menjadi begitu penting untuk diketahui bahwa perusahaan telah efisiensi dalam menjalankan usahanya. Dari pengertian diatas maka dapat disimpulkan bahwa profitabilitas yang dimaksud adalah suatu cara yang dilakukan untuk dapat memperoleh keuntungan dari hasil proses produksi yang dilakukan.

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dapat meliputi profit dari masing-masing limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit jika di manfaatkan dengan sebaik mungkin. Seperti halnya penggunaan dengan tepat dari ketiga jenis limbah padat kelapa sawit yang akan digunakan sebagai bahan bakar *boiler*, sehingga mampu untuk memperoleh profit untuk perusahaan.

c. Ketersediaan Bahan Baku

Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, maka akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya. Berbagai upaya dilakukan untuk mengolah limbah padat kelapa sawit. Hasil pengolahan limbah dapat dimanfaatkan untuk menjadi penentu banyaknya limbah yang mampu dihasilkan untuk menjadi bahan bakar *boiler*. Ketersediaan limbah padat dianggap sebagai faktor penentu penggunaan dan pemanfaatan dari limbah tersebut. Jumlah limbah padat kelapa sawit yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar dapat dihitung dari jumlah limbah padat yang dihasilkan dengan persentase yang telah ditetapkan dikalikan dengan kapasitas olah per jam (Dinata et al., 2019).

d. Lama waktu pembakaran

TKKS dipanaskan secara tidak langsung selama 2 jam dengan bahan bakar kayu. Pengukuran suhu dilakukan setiap 15 menit sekali dengan termometer infra merah model ST 652. Asap yang keluar dari reaktor akan mengalir ke kolom pendingin melalui tabung penyalur asap. Kemudian ke dalam kolom pendingin ini dialirkan air dengan suhu kamar sehingga asap akan terkondensasi dan mencair. Produksi asap cair diamati pada interval waktu, 30, 60, 90, dan 120 menit. Untuk setiap fraksi diamati jumlah asap cair yang dihasilkan. Proses pembakaran dihentikan setelah 2,5 jam dengan mengalirkan air ke dalam lubang kompresor dan mematikan api. Drum dibiarkan mendingin selama 24 jam, kemudian penutup dibuka untuk mengambil arang hayati. Pengujian dilakukan 3 (tiga) kali ulangan.

Untuk kernel memiliki ketahanan daya panas melebihi tandan kosong kelapa sawit dikarenakan memiliki partikel yang sangat padat dan juga memiliki panas yang stabil dan kontiniu sehingga sangat bagus untuk dijadikan bahan bakar untuk boiler. sedangkan serabut buah sawit memiliki ketahan panas dibawah tandan kosong dikarenakan memiliki serat yang tidak begitu padat dan komponen yang tidak beragam sehingga pada saat pembakaran tidak begitu bertahan lama tetapi memiliki kalor atau panas pembakaran yang bagus.

Penambahan konsentrasi campuran LDPE dengan TKKS serta CKS menaikkan nilai kalor, dan juga kadar zat terbang, serta menurunkan kadar air,

kadar abu, kadar karbon terikat. Akan tetapi pada uji pembakaran, penambahan komposisi LDPE membuat laju pembakaran yang dihasilkan semakin cepat (tinggi) dan briket semakin cepat habis terbakar meskipun titik maksimum pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi. Komposisi yang paling optimal jika dilihat dari nilai kalor yaitu pada briket CKS dengan penambahan LDPE 10% 40 mesh karena menghasilkan nilai 35 Analisis Kualitas Briket Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan Limbah Plastik. Kalor tertinggi sebesar 6.876 kal/g. Sedangkan jika dilihat hasil briket yang paling optimal yaitu dari komposisi keseluruhan dilihat dari uji proksimat, nilai kalor dan juga uji pembakaran briket yang paling stabil yaitu pada briket CKS campuran LDPE 5% 40 mesh, dengan hasil nilai proksimat yang telah memenuhi standar yaitu nilai kadar abu sebesar 7,12% , kadar zat terbang sebesar 14,96% dan kadar karbon terikat sebesar 70,66%. Lalu nilai kalor yang juga memenuhi standar yaitu 6.703 kal/g, dan nilai laju pembakaran yang baik dan kecil yaitu sebesar 0,57 g/menit (Suryaningsih & Pahleva, 2020).

e. Efisiensi pembakaran

Tandan Kosong Sawit (TKS). Persentase TKKS terhadap TBS sekitar 22 % (220 kg) dari setiap tonnya, mengandung unsur hara N, P, K, dan Mg berturut-turut setara dengan 3 Kg Urea; 0,6 Kg CIRP; 12 Kg MOP; dan 2 Kg Kieserit, serta dengan nilai kalor sebesar 18.795 kJ/kg dalam kondisi kering (Departemen Pertanian, 2006; Syukri, M Nur, 2014). Tandan kosong sawit untuk dijadikan bahan bakar boiler sangat efisien disamping yang memiliki daya panas tinggi harga juga yang relatif murah dan tidak memiliki dampak yang begitu berarti terhadap alat serta lingkungan.

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

Bahan Bakar Cangkang :

- Zat Padat : 4700 kcal/kg Kernel
- Minyak : 8800 kcal/kg
- Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kcal/kg air Bahan

Bakar Serabut :

- Zat Padat : 3850 kcal/kg Serabut
- Minyak : 8800 kcal/kg
- Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kcal/kg air (Parinduri et al., 2019)

Serabut Sawit - Mesocarp Fiber. Biomassa lain yang dihasilkan dari ekstraksi minyak sawit adalah serat yang disebut serabut sawit (mesocarp fiber). Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (lignin 26%), Untuk setiap ton TBS diperoleh 130 kg Serabut (13 %), dengan nilai kalor sebesar 19.055 kJ/kg dalam kondisi kering(Siswanto, 2020). Serabut sawit sama halnya dengan tandan kosong memiliki harga yang relative murah akan tetapi memiliki kalor yang lebih rendah dan juga ketahanan terhadap panas kurang jika dibandingkan tandan kosong.

Cangkang Kelapa Sawit (CKS) – Palm Kernel Shell. Cangkang sawit biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan tandan kosong dan serabut sawit. Untuk setiap ton TBS diperoleh 60 kg cangkang (6 %), dengan nilai kalor sebesar 20.093 kJ/kg dalam kondisi kering. Cangkang kelapa sawit memiliki kalor panas yang lebih tinggi dibanding serabut dan tandan kosong dan juga abu yg sedikit akan tetapi memiliki harga yang lebih mahal dan juga memiliki dampak yang bisa merusak alat karena zat asam.(Siswanto, 2020)