

# **APLIKASI MANAJEMEN RANTAI PASOK HIJAU PADA INDUSTRI KELAPA SAWIT**

**Ridzky Kramanandita**  
Politeknik “STMI” Jakarta

## **ABSTRAK**

Secara tradisional, hasil dari pabrik minyak kelapa sawit adalah minyak sawit mentah (CPO). Selain menghasilkan CPO, pabrik minyak kelapa sawit setiap harinya juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit adalah tandan buah kosong (TBK). Produksi TBK akan terus meningkat seiring bertambahnya populasi manusia dan proses industrialisasi. Praktek-praktek penanganan TBK berdasarkan prinsip-prinsip rantai pasok hijau adalah sangat diperlukan untuk menjaga kelestarian lingkungan. Penelitian ini beranggapan bahwa pemilihan pemanfaatan TBK adalah sebuah proses pengambilan keputusan. Meskipun demikian, pemanfaatan TBK adalah sesuatu permasalahan yang kompleks karena melibatkan sejumlah alternatif dan kriteria. Karena pemanfaatan limbah industri kelapa sawit merupakan sesuatu penting bagi industri kelapa sawit, maka keputusan tentu akan sulit jika hanya mengandalkan intuisi. Oleh karena itu, pengambilan keputusan ini perlu dilakukan melalui sebuah proses tertentu. Penelitian ini mendapati bahwa industri kelapa sawit dihadapkan pada 7 alternatif pemanfaatan TBK. Dengan menggunakan metode AHP, teridentifikasi bahwa pemanfaatan TBK menjadi bahan bakar langsung merupakan alternatif terbaik bagi industri kelapa sawit.

(Kata kunci: Industri kelapa sawit, limbah TBK, rantai pasok hijau)

## **ABSTRACT**

Traditionally, the product of palm oil mill is crude palm oil (CPO). In addition to produce CPO, palm oil mill also produce large amounts of waste. One type of solid waste generated by the palm oil mill is empty fruit bunches (EFB). EFB production will increase continuously as human population increase and industrialization process. EFB treatment based on the principles of green supply chain is indispensable for preserving the environment. This study assumes that the selection process of EFB utilization is a decision-making process. Yet, the EFB utilization is a complex issue considering that it involves a number of alternatives and criteria. Due to the utilization of waste oil palm mill is an important issue for the palm oil industry, therefore, then the decision-making process would be difficult if it just rely on intuition. Accordingly, the decision-making process need to be conducted using a certain process. The study found that the palm oil industry have seven alternatives concerning EFB utilization. By using AHP, it was identified that the use EFB to be direct fuels is the best alternative for the palm oil industry.

(Keywords: palm oil industry, EFB, green supply chain)

## **1. PENDAHULUAN**

Produksi limbah adalah sebuah fenomena alami. Produksi limbah akan terus meningkat seiring bertambahnya populasi manusia dan proses industrialisasi. Pada saat ini perkembangan industri telah mengakibatkan eksploitasi berbagai jenis sumber daya alam, yang pada akhirnya menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar dan menciptakan permasalahan yang kompleks. Praktek-praktek penanganan limbah yang berkelanjutan adalah sangat diperlukan untuk menjaga kelestarian lingkungan. Kondisi semacam ini telah memunculkan tekanan agar limbah dari suatu industri harus dikaji dengan tujuan untuk memanfaatkannya kembali (Singh et al., 2011).

Pada sisi lain, meningkatnya krisis energi dan permasalahan lingkungan telah menarik perhatian banyak pihak untuk memanfaatkan limbah industri menjadi sumber bahan bakar dan bahan kimia. Biomassa lignoselulosa yang merupakan limbah industri pertanian dan kehutanan merupakan sumber energi yang relatif murah dan berkelanjutan, termasuk limbah dari industri kelapa sawit (Sklavounos et al., 2013).

Beberapa pakar telah mengemukakan bahwa salah satu limbah padat yang banyak dihasilkan oleh industri kelapa sawit adalah tandan buah kosong (untuk selanjutnya disebut TBK). Namun sayangnya TBK tidak mempunyai pemanfaatan tertentu. TBK saat ini biasanya didaur ulang kembali sebagai mulsa di perkebunan sawit untuk menghindari erosi tanah dan mempertahankan nutrisi tanah. Sayangnya, model daur ulang seperti ini memunculkan permasalahan; diantaranya adalah biaya transportasi yang tinggi, emisi gas rumah kaca, dan biaya tenaga kerja (Aziz et al., 2015).

Banyak pakar telah mengemukakan bahwa berbagai karakteristik dari limbah industri kelapa sawit sangat berpotensi untuk hal ini berpotensi untuk merusak lingkungan (Aziz et al., 2015). Dengan semakin tingginya tekanan global akan pentingnya kelestarian lingkungan, industri kelapa sawit perlu melakukan kajian ulang terhadap limbahnya dan memanfaatkannya kembali dalam kegiatan produksi dan operasinya, baik secara langsung maupun tidak langsung (Singh et al., 2011).

Sebagian besar model-model riset operasional adalah ditujukan untuk pengambilan keputusan berkriteria tunggal yang melibatkan variabel-variabel yang mudah diukur. Padahal, banyak permasalahan di dunia nyata yang membutuhkan pengambilan keputusan berdasarkan multi-kriteria dan melibatkan banyak variabel

(Nagesha & Balachandra, 2006). Di antara sejumlah pendekatan yang dapat digunakan untuk menangani permasalahan pengambilan keputusan multi-kriteria adalah *analytic hierarchy process* (untuk selanjutnya disebut AHP). AHP merupakan salah satu alat bantu dalam proses pengambilan keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L Saaty (Lee et al., 2007)

Penelitian ini beranggapan bahwa pemilihan pemanfaatan TBK adalah sebuah proses pengambilan keputusan. Pengambilan keputusan tentang pemanfaatan limbah industri kelapa sawit ini adalah sesuatu permasalahan yang kompleks karena melibatkan sejumlah alternatif dan kriteria sehingga bersifat penambihan keputusan multi kriteria. Karena pemanfaatan limbah industri kelapa sawit merupakan sesuatu penting bagi industri kelapa sawit, maka keputusan tentu akan sulit jika hanya mengandalkan intuisi sehingga pengambilan keputusan perlu dilakukan melalui sebuah proses tertentu.

Penelitian ini menggunakan AHP sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan dalam pemilihan pemanfaatan limbah industri kelapa sawit. Pemilihan AHP ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut. *Pertama*, AHP adalah satu alat bantu dalam pengambilan keputusan multi-kriteria yang cukup *powerfull* sehingga dapat diaplikasikan dalam pengambilan keputusan penting, terutama yang berkaitan dengan kebijakan atau perumusan strategi dan prioritas (Lee et al., 2007). *Kedua*, banyak peneliti telah menerapkan teori AHP dalam pengambilan keputusan di berbagai bidang, mulai dari bidang manufaktur, alternatif-alternatif transfer teknologi, dan praktek-praktek konservasi energi (Nagesha & Balachandra, 2006).

## **2. KAJIAN PUSTAKA**

### **2.1 Green Suply Chain**

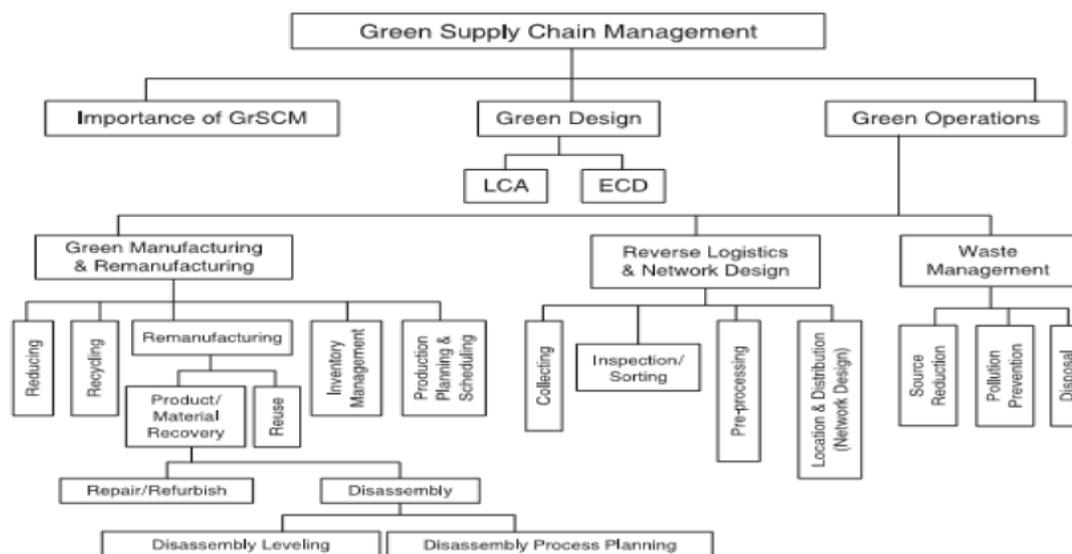
Pada awalnya, konsep rantai pasok merujuk pada sistem pengelolaan kegiatan dan fasilitas yang diawali dengan pembelian bahan baku, memproduksi barang, dan mendistribusikan produk kepada pelanggan. Semua vendor dan produsen, penyedia layanan, distributor, gudang dan pengecer dihubungkan dalam satu kesatuan. Tujuan utama dari pengelolaan ini adalah meminimalkan biaya dan memaksimalkan keuntungan secara bersamaan untuk mencapai persyaratan layanan (Abdolhossein et al., 2012). Pembangunan industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan telah menjadi perhatian dari banyak pihak sehingga muncul konsep baru yang disebut *Green Supply Chain (GSC)*

(Kumar & Kumar, 2013). Sebagai contoh, Uni Eropa telah menetapkan berbagai kebijakan lingkungan, termasuk pembatasan penggunaan bahan berbahaya dalam peralatan listrik dan elektronik dan limbah peralatan listrik dan elektronik. Kebijakan ini melarang produsen, penjual, dan distributor peralatan listrik dan elektronik untuk meluncurkan peralatan baru yang berisi bahan berbahaya dan limbah elektronik di pasar (Zhu et al., 2008).

Kumara & Rahman (2014) juga memberikan pernyataan yang serupa bahwa pada saat ini, ada peningkatan kesadaran global tentang permasalahan lingkungan dan kebutuhan pembangunan berkelanjutan dalam dunia akademis dan bisnis. Isu mengenai pendekatan yang berkelanjutan untuk desain sistem produksi atau manufaktur telah menjadi semakin penting. Semakin banyak perusahaan menjadi lebih tertarik untuk menerapkan metode yang berkelanjutan di fasilitas yang ada. Membuat perubahan dalam pembelian, manajemen material, praktek kerja, dan pengelolaan limbah dapat mengurangi atau menghilangkan bahaya lingkungan yang berbahaya di fasilitas produksi. Bahaya juga dapat dikurangi dengan mengubah bagaimana limbah diolah. Peningkatan pemilahan dan daur ulang sistem mengurangi jumlah limbah yang harus dibakar.

Zhu et al. (2008) menyatakan bahwa GSC telah menyebabkan banyak perusahaan untuk mempertimbangkan model rantai pasoknya menjadi tertutup, agar sistem produksinya menjadi ramah lingkungan, meraih keunggulan kompetitif, dan memperoleh keuntungan yang lebih tinggi. Guide et al. (2009) memberikan pendapat yang serupa yaitu GSC memungkinkan perusahaan untuk mengembangkan sistem industri berkelanjutan yang ramah lingkungan sekaligus memberikan manfaat ekonomi.

GSC kini ditujukan untuk pengurangan beberapa faktor, yaitu energi, material, semua jenis polusi dan emisi, limbah produksi, dan mempromosikan penggunaan bahan daur ulang dan sumber energi terbarukan yang diterapkan pada berbagai aktivitas rantai pasok (Guide & Van Wassenhove, 2000). Untuk mencapai tujuan rantai pasok yang ramah lingkungan, menurunkan biaya, dan melindungi lingkungan, produsen perlu untuk menerapkan berbagai inisiatif di seluruh mata rantai pasok. Gambar 1 menunjukkan domain permasalahan rantai pasok hijau (Abdolhossein et al., 2012).



Gambar 1. Domain permasalahan dari manajemen rantai pasok hijau (Sumber: Abdolhossein et al., 2012)

## 2.2 Industri Kelapa Sawit

Secara umum, proses pengolahan TBS minyak sawit menjadi minyak sawit mentah (CPO) dapat dikategorikan menjadi proses basah dan proses kering. Proses basah merupakan proses yang saat ini paling umum digunakan oleh pabrik pengolahan CPO. Proses ini disebut proses basah karena banyaknya air yang diperlukan untuk mengolah TBS minyak sawit menjadi CPO. Diperkirakan bahwa untuk menghasilkan satu ton CPO adalah diperlukan air sebanyak 5 - 7,5 ton air. Dalam proses basah ini, air diperlukan untuk menghilangkan kotoran dan sterilisasi pada berbagai tahapan proses. Penelitian ini adalah fokus pengolahan TBS minyak sawit menjadi CPO dengan menggunakan proses basah. Gambar 8 menunjukkan beberapa proses utama yang umum digunakan pada pabrik minyak sawit (Wu et al., 2009).

### ***Penerimaan***

TBS kelapa sawit yang dipetik di kebun kelapa sawit diangkut secepatnya ke pabrik untuk diproses. Berbagai sistem transportasi perlu digunakan untuk membawa TBS kelapa sawit ke pabrik (Amelia et al., 2009). Begitu sampai di pabrik, TBS kelapa sawit diletakan dalam suatu tempat penimbunan (*loading ramp*) dan kemudian ditransfer ke stasiun sterilizer dalam lori-lori (*fruits cages*). Pengiriman dan penanganan TBS kelapa sawit harus dilakukan secara hati-hati agar TBS kelapa sawit tidak rusak. TBS kelapa

sawit yang rusak akan menghasilkan minyak sawit berkualitas rendah karena naiknya kandungan asam lemak bebas (Ahmed et al., 2014).

#### ***Sterilisasi.***

Setelah dimasukkan ke lori-lori sterilizer, TBS kelapa sawit disterilisasi dengan uap panas selama 75 - 90 menit pada temperatur sekitar 140<sup>0</sup> C (Ahmed et al., 2014). Wu et al. (2009) menambahkan bahwa proses sterilisasi perlu dilakukan pada tekanan 3 x 10<sup>5</sup> Pa. Menurut Ahmed et al. (2014), tahap sterilisasi ini diperlukan untuk (1) mencegah pembentukan asam lemak bebas, (2) memudahkan pelepasan buah dari tandan, (3) melunakan buah untuk memudahkan dalam proses pengepresan dan pemecahan biji, dan (4) meminimalkan kerusakan biji selama proses pengepresan dan pemecahan biji. Sterilisasi ini menghasilkan limbah. Sekitar 0,9 ton kondensat yang dihasilkan dalam langkah ini untuk memproses setiap ton minyak.

#### ***Pemisahan, Pelumatan dan Ekstraksi.***

TBS kelapa sawit yang telah direbus di sterilizer diangkat dan di tuang ke dalam thresher. Perontokan buah dari tangkai tandan dilakukan dengan melemparkan TBS kelapa sawit ke dalam drum putar (Amelia et al., 2009). Dalam proses ini, buah-buah akan terlepas dari tangkai tandan. Buah-buah yang terlepas ini dilewatkan ke dalam digester melalui sebuah conveyor. Didalam digester buah diaduk dan dilumat untuk memudahkan daging buah terpisah dari biji. Untuk memudahkan proses pelumatan, buah-buah ini diberi uap panas (80 - 90<sup>0</sup> C). Buah-buah yang sudah lumat ini kemudian disalurkan ke mesin pengepresan (*screw press*). Pengepresan ini berfungsi untuk mengeluarkan minyak mentah (*crude oil*) dari daging buah. Dari pengepresan tersebut akan diperoleh minyak mentah, ampas, dan biji. Minyak mentah ini selanjutnya dialirkan ke stasiun pemurnian (Ahmed et al., 2014).

#### ***Pemurnian.***

Minyak mentah dari stasiun pengepresan dikirim ke stasiun pemurnian untuk diproses lebih lanjut. Minyak mentah ini mengandung 35 – 45 % minyak sawit, 45 – 55 % air, dan material berserat. Proses pemisahan minyak, air dan kotoran dilakukan dengan system pengendapan, sentrifugasi dan penguapan. Minyak mentah ini dialirkan ke saringan yang bergetar (*vibrating screen*) untuk memisahkan kotoran dan bahan-bahan lain yang masih mengandung minyak (Amelia et al., 2009). Bahan-bahan lain yang masih mengandung minyak dapat dikembalikan ke digester. Minyak yang telah disaring

selanjutnya dialirkan ke dalam tangki minyak mentah. Pemisahan minyak dengan sludge dilakukan dengan cara pengendapan didalam tangki ini. Minyak yang mempunyai berat jenis kecil akan mengapung sedangkan sludge yang mempunyai berat jenis lebih besar akan mengendap di bawah. Minyak ini selanjutnya dialirkan kedalam tangki minyak, sedangkan sludge yang mempunyai berat jenis lebih besar dari pada minyak masuk kedalam ruang ketiga melalui lubang bawah. Untuk memaksimalkan pemisahan minyak, maka suhu dipertahankan pada 90<sup>0</sup> C. Sekitar 1,5 ton limbah lumpur dihasilkan selama pengolahan satu ton CPO (Ahmed et al., 2014).

### ***Pemisahan Dan Pengeringan Biji.***

Kotoran yang dihasilkan proses pengepresan (*press cake*) yang terdiri dari biji dan serabut dimasukkan ke dalam Depericaper dan dipanaskan dengan uap agar kandungan air berkurang, sehingga *press cake* terurai dan mudah terpisah. Pada Depericaper terjadi proses pemisahan biji dan serabut. Selanjutnya biji-biji ini diproses di *hydrocyclone*, di mana biji sawit dipisahkan dari cangkang-cangkang berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Air limbah *hydrocyclone* dibuang. Sekitar 0,1 ton limbah *hydrocyclone* terbentuk untuk setiap satu ton produksi kelapa sawit (Ahmed et al., 2014).

Secara garis besar prosedur AHP meliputi enam tahapan, yaitu dekomposisi masalah, penilaian untuk membandingkan elemen-elemen pada setiap hirarki, penyusunan matriks dan uji konsistensi, penetapan prioritas pada masing-masing hirarki, sistesis dari prioritas, dan pengambilan atau penetapan keputusan (Saaty, 1980). AHP memungkinkan para pengambil keputusan untuk membuat struktur suatu masalah yang kompleks dalam bentuk hirarki yang sederhana dan mengevaluasi sejumlah faktor kuantitatif dan kualitatif secara sistematis dengan mempertimbangkan beberapa kriteria, yang mungkin saja saling bertentangan (Lee et al., 2007).

## **3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Disain penelitian**

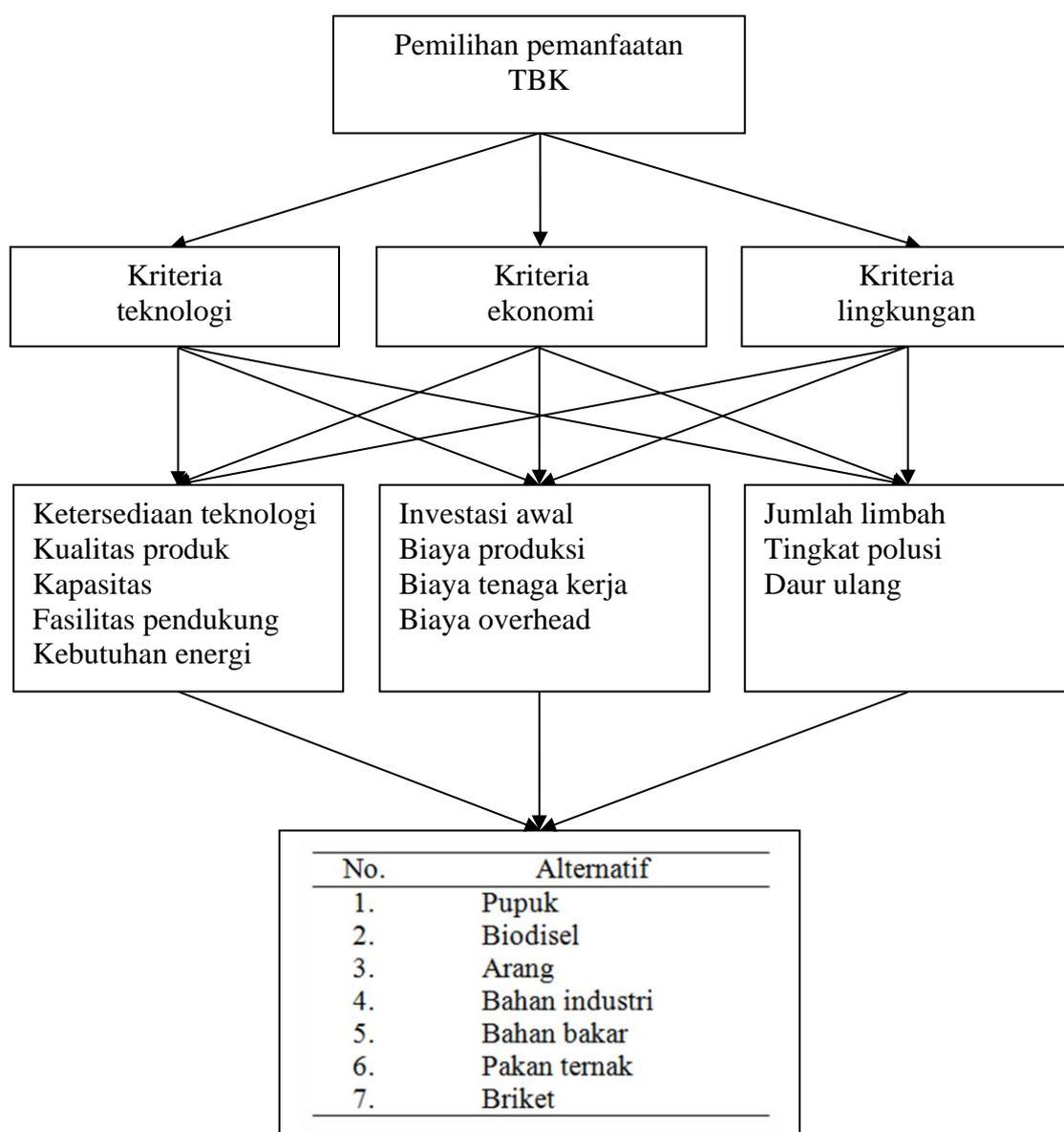
Penelitian ini adalah didasarkan pada sampel. Peneliti melakukan survei lapangan pada 2 PKS di Provinsi Sumatera Utara. Survei lapangan ini ditujukan untuk mengumpulkan data dan informasi terkait dengan proses pengolahan TBS menjadi CPO dan limbah yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan tiga alat untuk mendapatkan data, yaitu kajian literatur, kunjungan lapangan, dan wawancara.

### **3.2 Pengembangan Model AHP**

Permasalahan pemanfaatan TBK didekomposisi menjadi hirarki yang meliputi sebuah tujuan, atribut-atribut, dan alternatif-alternatif. Gambar 2 memperlihatkan model AHP untuk pemanfaatan TBK.

### **3.3 Tahapan Penelitian**

Merujuk pada Lee et al. (2007), penelitian ini mengadopsi proses AHP untuk pemanfaatan limbah industri kelapa sawit. Proses ini mencakup beberapa tahapan sebagai berikut. Tahap pertama adalah menentukan tujuan, yaitu pemilihan pemanfaatan limbah industri kelapa sawit. Tahap kedua adalah menyusun kriteria-kriteria untuk mengevaluasi berbagai alternatif yang mungkin. Tahap ketiga adalah menyusun hirarki, yaitu memecah masalah yang kompleks menjadi beberapa elemen kecil dan menyusun elemen-elemen dalam bentuk hirarki. Tahap keempat adalah menilai apakah hirarki telah diatur dengan benar sesuai dengan target yang telah ditetapkan.



Gambar 2. Model AHP untuk pemanfaatan TBK

Tahap kelima adalah membuat perbandingan berpasangan, menghitung bobot kriteria, dan memeriksa konsistensi logis. Tahap keenam adalah meninjau rasio konsistensi (CR), yang harus bernilai antara 0,00 dan 0,10. Jika CR lebih besar dari 0,00 dan kurang dari 0,10, tahap selanjutnya adalah agregasi bobot. Tahap akhir adalah memilih alternatif-alternatif terbaik yang mengarah pada pemanfaatan limbah industri kelapa sawit. Dalam penelitian ini, prosedur penilaian perbandingan berpasangan

mengacu pada skor penilaian yang telah dikembangkan oleh Saaty (1980), sebagai berikut:

- 1 : Elemen A sama pentingnya dengan Elemen B
- 3 : Elemen A sedikit lebih penting dari Elemen B
- 5 : Elemen A lebih penting dari Elemen B
- 7 : Elemen A sangat lebih penting dari Elemen B
- 9 : Elemen A mutlak lebih penting dari Elemen B

2, 4, 6, 8 adalah nilai-nilai antara diantara dua pertimbangan yang berdekatan

Tabel 1. Kriteria pemilihan alternatif pemanfaatan TBK

Kriteria	Sub-kriteria
Teknologi (K1)	K11 Kelayakan
	K12 Resiko
	K13 Keandalan
	K14 Jangka waktu tahap persiapan
	K15 Jangka waktu tahap implementasi
	K16 Kestinambungan kinerja
Lingkungan (K2)	K21 Tingkat polusi
	K22 Kebutuhan lahan
	K23 Kebutuhan pembuangan limbah
Ekonomi (K3)	K31 Biaya implementasi
	K32 Ketersediaan dana
	K33 Nilai ekonomis (NPV, IRR, B/C)

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Limbah Dari Industri Kelapa Sawit

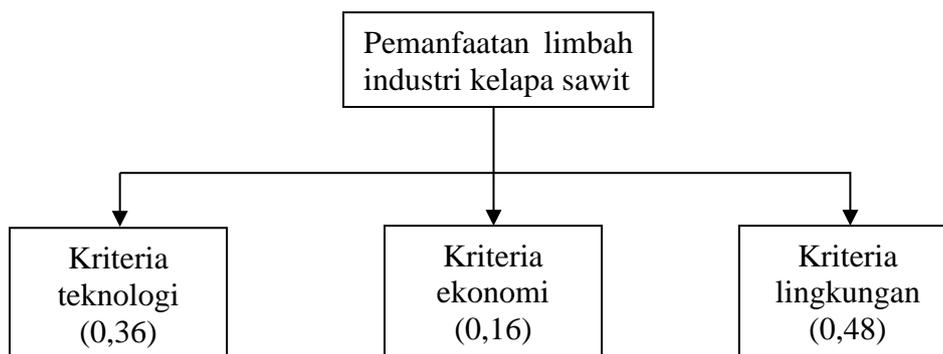
Sebuah pabrik kelapa sawit rata-rata dapat menangani sekitar 100 ton TBS setiap hari. Untuk mengolah TBS menjadi CPO, pabrik-pabrik kelapa sawit akan menghasilkan residu-residu padat. Residu padat dari TBS sekitar 20% diantaranya adalah berupa TBK. Pada saat ini, TBK umumnya dibuang begitu saja ke perkebunan sawit atau dimanfaatkan sebagai mulsa. Untuk meminimalkan polusi, TBK perlu didaur ulang dan dimanfaatkan secara lebih optimal (Mohammad et al., 2012). Tabel 2 memperlihatkan beberapa alternatif pemanfaatan TBK yang diperoleh dari hasil studi literatur.

Tabel 2. Alternatif pemanfaatan TBK

No.	Alternatif
1.	Pupuk
2.	Biodisel
3.	Arang
4.	Bahan industri
5.	Bahan bakar
6.	Pakan ternak
7.	Briket

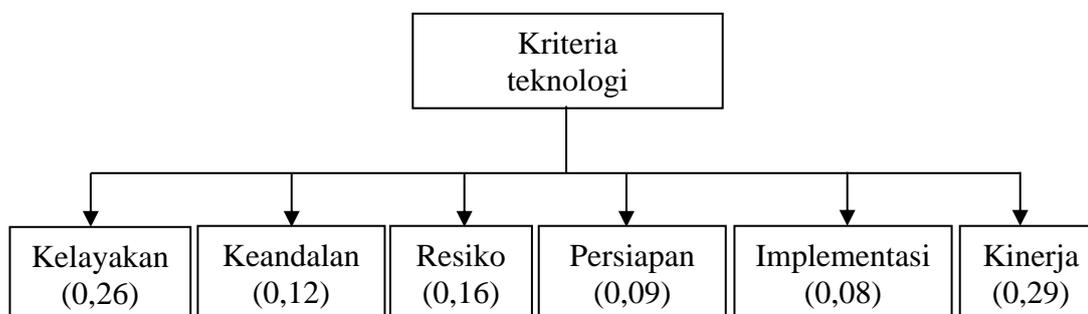
##### 4.2 Pembobotan prioritas

Berdasarkan kajian pustaka didapati bahwa sebuah proyek pengembangan konversi energi dapat dievaluasi berdasarkan tiga kriteria, yaitu teknologi, ekonomi, dan lingkungan. Gambar 3 memperlihatkan bobot prioritas pemanfaatan TBK.

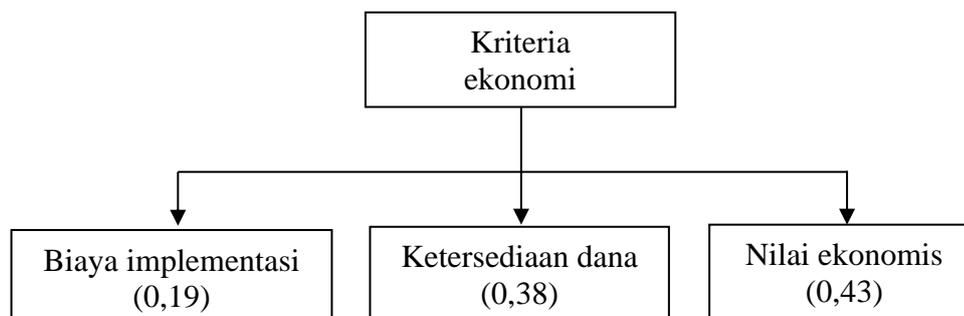


Gambar 3. Bobot prioritas dari kriteria pemanfaatan TBK

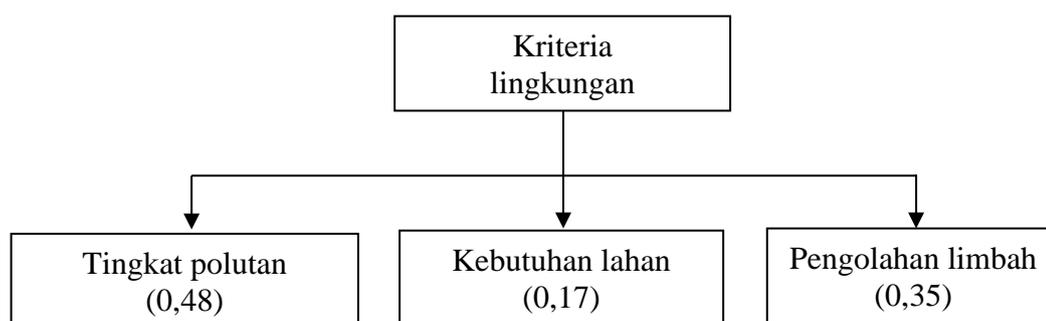
Setelah melakukan penetapan prioritas pada hierarki 2 (kriteria), selanjutnya adalah penetapan prioritas pada hirarki 3 (sub-kriteria). Hasil analisis data dengan menggunakan AHP disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bobot prioritas untuk aspek teknologi dari pemanfaatan TBK



Gambar 5. Bobot prioritas untuk aspek ekonomi dari pemanfaatan TBK



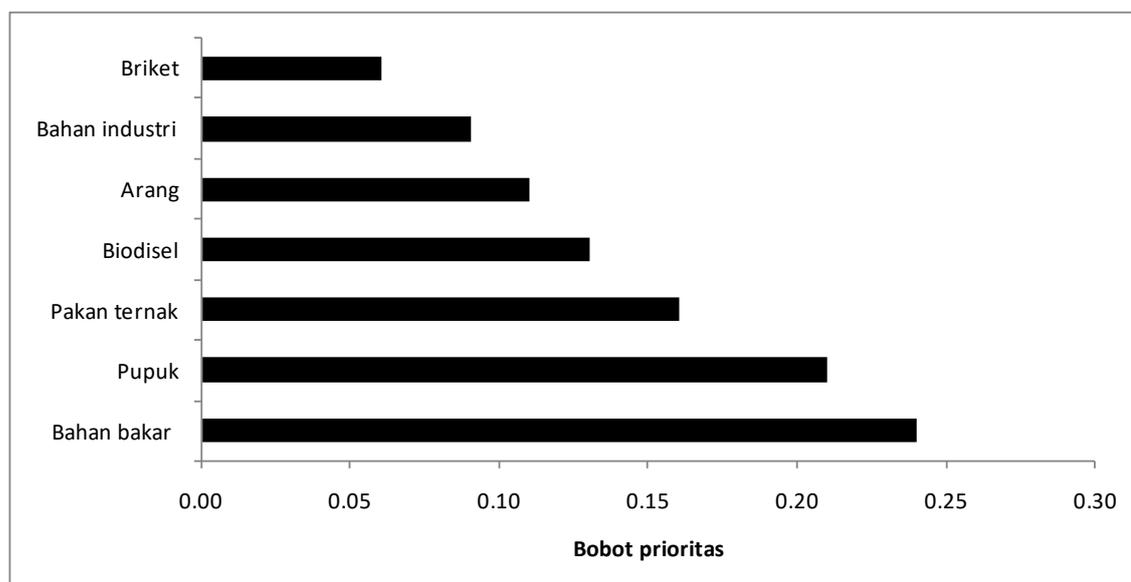
Gambar 6. Bobot prioritas untuk aspek aspek lingkungan dari pemanfaatan TBK

Setelah melakukan penetapan prioritas pada hierarki 3, selanjutnya adalah penetapan prioritas pada hirarki 4. Pada tahap ini, masing-masing alternatif pemanfaatan limbah industri kelapa sawit akan dinilai karakteristik atau tingkat kepentingannya berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Langkah terakhir dari proses AHP adalah

menentukan alternatif terbaik dengan menggabungkan hasil pembobotan pada kriteria, pembobotan pada sub-kriteria, dan pembobotan alternatif berdasarkan sub-kriteria.

#### 4.3 Pemilihan alternatif

Bisnis inti dari industri kelapa sawit adalah untuk menghasilkan CPO. Ali et al. (2014) mensinyalir bahwa pada saat ini, mayoritas pabrik-pabrik kelapa sawit sudah menghasilkan pendapatan yang cukup besar dari produksi CPO, tetapi belum menerapkan teknologi yang efisien untuk pemanfaatan TBK. Padahal, literatur menunjukkan bahwa TBK mempunyai potensi untuk dimanfaatkan kembali. Gambar 7 memperlihatkan urutan prioritas pemanfaatan TBK. Urutan prioritas ini disusun dengan menggabungkan hasil pembobotan pada kriteria, pembobotan pada sub-kriteria, dan pembobotan alternatif.



Gambar 4. Bobot prioritas untuk alternatif-alternatif dari pemanfaatan TBK

Gambar 20 menunjukkan bahwa pemanfaatan TBK menjadi bahan bakar langsung dinilai sebagai alternatif terbaik bagi industri kelapa sawit. Alternatif ini menempati posisi teratas dalam peringkat alternatif pemanfaatan TBK dengan bobot prioritas sebesar 0,35. Temuan ini, menandakan bahwa para pakar industri kelapa sawit telah menyadari bahwa TBK adalah salah satu biomassa yang sangat potensial untuk menjadi sumber energi terbarukan. Hal ini sejalan dengan pendapat Kahraman et al. (2009) bahwa energi terbarukan adalah sangat penting untuk pengembangan industri yang berkesinambungan.

Energi terbarukan yang menggunakan sumber-sumber lokal memiliki potensi untuk menyediakan energi dengan emisi yang minimum.

## **5. KESIMPULAN**

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan alternatif terbaik dari berbagai alternatif pemanfaatan TBK. Metode yang digunakan dalam penentuan alternatif pemanfaatan dua jenis limbah industri kelapa sawit ini adalah AHP. Penelitian ini memandang bahwa pemilihan alternatif pemanfaatan TBK bukan didasarkan pada kriteria tunggal, tetapi merupakan proses pengambilan keputusan multi kriteria. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa pengambilan keputusan berdasarkan kriteria tunggal, dan mengabaikan kriteria-kriteria lain adalah tidak cukup kuat untuk menentukan alternatif terbaik karena tidak mewakili gambaran permasalahan secara menyeluruh. Dengan demikian, penelitian ini menganggap perlu untuk menentukan prioritas pemanfaatan limbah industri kelapa sawit berdasarkan 3 kriteria secara simultan. Karena alternatif-alternatif pemanfaatan TBK adalah majemuk maka diperlukan keputusan-keputusan strategis untuk mengevaluasi pemanfaatan sumber energi terbarukan ini. Untuk alasan inilah maka penelitian ini mengadopsi AHP dalam pengambilan keputusan pemanfaatan TBK.

Penelitian ini mendapati bahwa industri kelapa sawit dihadapkan pada 7 alternatif pemanfaatan TBK. Untuk menentukan alternatif pemanfaatan limbah ini, industri kelapa sawit perlu memperhatikan kriteria dan sub-kriteria. Dengan menggunakan metode AHP, untuk industri kelapa sawit, teridentifikasi bahwa pemanfaatan TBK menjadi bahan bakar langsung merupakan alternatif terbaik bagi industri kelapa sawit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pohekar, S.D. and Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4), 365–381
- Kahraman, C., Kaya, I., Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34 (10), 1603–1616
- Nixon, J.D., Dey, P.K., Ghosh, S.K., Davies, P.A. (2013). Evaluation of options for energy recovery from municipal solid waste in India using the hierarchical analytical network process. *Energy*, 59, 215–223
- Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning: application of the ELECTRE method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28, 2063–2087
- Aziz, M., Prawisudha, P., Prabowo, B., Budiman, B.A. (2015). Integration of energy-efficient empty fruit bunch drying with gasification/combined cycle systems. *Applied Energy*, 139, 188–195
- Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2010). Insight into the applications of palm oil mill effluent: A renewable utilization of the industrial agricultural waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (5), 1445–1452
- Gobi, K. and Vadivelu, V.M. (2013). By-products of palm oil mill effluent treatment plant – A step towards sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 788–803
- Mohammad, N., Alam, M.Z., Kabbashi, N.A., Ahsan, A. (2012). Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 69–78
- Nagesha, N. and P. Balachandra, P. (2006). Barriers to energy efficiency in small industry clusters: multicriteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. *Energy*, 31 (12), 1633–1647
- Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill Inc., New York (1980)
- Shuit, S.H., Tan, K.T., Lee, K.T., Kamaruddin, A.H. (2009). Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. *Energy*, 34 (9), 1225–1235
- Singh, R.P., Embrandiri, A., Ibrahim, M.H., Esa, N. (2011). Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option. *Resources, Conservation and Recycling*, 55 (4), 423–434
- Sklavounos, E., Iakovlev, M., Survase, S., Granstrom, T., Heiningena, A. (2013). Oil palm empty fruit bunch to biofuels and chemicals via SO<sub>2</sub>-ethanol-water fractionation and ABE fermentation. *Bioresource Technology*, 147, 102–109
- Lee, S.K., Yoon, Y.J., Kim, J.W. (2007). A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. *Energy Policy*, 35 (5), 2862–2868
- Abdolhossein S., Ismail, N., Ariffin, M.K.A., Zulkifli, N., Mirabi, H., Nikbakht, M. (2012). Closed-Loop Supply Chain Networks: an Overview. *International Journal of Innovative Ideas*, 12(4), 1-6
- Guide, V.D.R., Harrison, T.P., Van Wassenhove, L.N. (2003). The Challenge of Closed-Loop Supply Chains. *Interfaces*, 33 (6), 3–6

- Kumara, A. and Rahman, S. (2014). RFID-enabled process reengineering of closed-loop supply chains in the healthcare industry of Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 85, 382–394
- Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.H. (2008). Green supply chain management implications for “closing the loop”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (1), 1–18
- Stefanelli, N.O., Jabbour, C.J.C., Jabbour, A.B.L.S (2014). Green supply chain management and environmental performance of firms in the bioenergy sector in Brazil: An exploratory survey. *Energy Policy*, 75, 312–315
- Tseng, M.L., Lin, R.J., Lin, Y.H., Chen, R.H., Tan, K. (2014). Close-loop or open hierarchical structures in green supply chain management under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 41 (7), 3250–3260