

## PENERAPAN PRODUKSI BERSIH PADA INDUSTRI KELAPA SAWIT DI PT YZ

### APPLICATION OF CLEANER PRODUCTION IN THE PALM OIL INDUSTRY AT PT YZ

Hanifah Ulfa Azzahro<sup>1)\*</sup>, Nastiti Siswi Indrasti<sup>2)</sup>, dan Andes Ismayana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia  
Email: hanihana9904@gmail.com

<sup>2)</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Makalah: Diterima 16 September 2021; Diperbaiki 11 Desember 2022; Disetujui 20 Januari 2022

#### ABSTRACT

PT YZ is a palm oil industry that has a processing capacity of 60 tons of FFB/hour with its main products in the form of Palm Oil (CPO) and Kernel. The palm oil industry in addition to producing the main product in the form of CPO, also produces a large amount of waste. The waste consists of solid waste, liquid waste and gas waste. The purpose of this research is to identify the flow of materials, products, and non-products in the production process of the palm oil processing industry and waste treatment processes, identify cleaner production alternatives that can be applied to the palm oil industry and determine the priority scale of cleaner production opportunities in the palm oil processing industry. The methods used include literature study, observation, mass balance analysis, technical feasibility analysis, economics (B/C and PBP), environmental, and Exponential Comparison Method (MPE). PT YZ has handled it by reusing the waste formed as boiler fuel (solid waste) and land application (treated liquid waste), but there were still waste and loss problems. The strategy for implementing cleaner production that technically, economically and environmentally feasible were 1) Modification of the process by adding a reservoir for condensate water and oil, with B/C value = 2.5 and PBP = 0.50 years, 2) Application of good housekeeping by reducing dirt on fruit with GMP (good manufacturing practice) training, with B/C value = 1.61 and PBP = 1.63 years, 3) Application of good housekeeping by controlling or supervising the use of water by adding a water meter in each unit of process and repair of leaking pipes, with B/C value = 2.16 and PBP = 4.31 years and 4) The application of good housekeeping by reducing oil spills in the digester by repairing leaks in the digester tank and pipe, with B/C value = 1.48 and PBP 6.30 years. Based on the score obtained, it shows that the implementation of good housekeeping by reducing oil spills in the digester is the main priority.

Keyword: cleaner production; MPE; palm oil

#### ABSTRAK

PT YZ adalah industri kelapa sawit yang memiliki kapasitas pengolahan sebesar 60 ton TBS/jam dengan produk utamanya berupa minyak sawit (CPO) dan Kernel. Industri kelapa sawit selain menghasilkan produk utama berupa CPO, juga menghasilkan limbah yang cukup besar. Limbah tersebut terdiri dari limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi aliran bahan, produk, dan non produk pada proses produksi industri pengolahan kelapa sawit dan proses penanganan limbah, mengidentifikasi alternatif produksi bersih yang dapat diterapkan untuk industri kelapa sawit dan menentukan skala prioritas peluang produksi bersih di industri pengolahan kelapa sawit. Metode yang digunakan meliputi studi pustaka, observasi, analisis neraca massa, analisis kelayakan teknis, ekonomis (B/C dan PBP), lingkungan, dan Metode Perbandingan Eksponensial (MPE). PT YZ telah melakukan penanganan dengan memanfaatkan kembali limbah yang terbentuk sebagai bahan bakar boiler (limbah padat) dan *land application* (limbah cair terolah), namun masih terdapat masalah pemborosan dan kerugian. Strategi penerapan produksi bersih yang layak secara teknik, ekonomi, dan lingkungan adalah 1) Modifikasi proses dengan cara penambahan kolam penampung air kondensat dan minyak, memiliki nilai B/C = 2,5 dan PBP = 0,50 tahun, 2) Penerapan *good housekeeping* dengan cara mengurangi kotoran pada buah dengan pelatihan GMP (*good manufacturing practice*), memiliki nilai B/C = 1,61 dan PBP = 1,63 tahun, 3) Penerapan *good housekeeping* dengan cara pengontrolan atau pengawasan dalam penggunaan air dengan cara penambahan meteran air pada setiap unit proses dan perbaikan pipa yang bocor, memiliki nilai B/C = 2,16 dan PBP = 4,31 tahun dan 4) Penerapan *good housekeeping* dengan cara pengurangan ceceran minyak pada digester dengan memperbaiki kebocoran pada tangki dan pipa digester, memiliki nilai B/C = 1,48 dan PBP 6,30 tahun. Berdasarkan skor penilaian yang diperoleh menunjukkan bahwa penerapan *good housekeeping* dengan cara pengurangan ceceran minyak pada digester menjadi prioritas utama yang dilakukan.

Kata kunci: produksi bersih, MPE, minyak kelapa sawit

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit sebagai tanaman penghasil minyak dan inti sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non migas bagi Indonesia. Cerahnya prospek komoditi minyak kelapa sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit (Kemenperin, 2020). Kelapa sawit memiliki biaya produksi terendah dari semua minyak nabati di pasar komoditas global, dan dapat memenuhi permintaan global yang terus meningkat yaitu diperkirakan mencapai 240 juta ton pada tahun 2050 (Corley, 2009). Dua jenis minyak nabati diekstraksi dari buah sawit: minyak sawit mentah (CPO) dan minyak inti sawit (PKO) (Barcelos *et al.*, 2015). Minyak sawit dan minyak inti sawit merupakan bagian penting dari pasar minyak nabati global, bersaing dengan minyak lain seperti kedelai. Kegunaan utamanya adalah sebagai minyak goreng dan bahan produk (misalnya makanan olahan, deterjen, kosmetik), serta biodiesel. Permintaan global untuk kelapa sawit berkembang pesat (Pacheco *et al.*, 2017).

Menurut Yanti dan Lestari (2020), menunjukkan luas perkebunan kelapa sawit pada tahun 2019 sebesar 2.605.026 Ha terus meningkat pada tahun 2021 menjadi 2.801.668 Ha. Adanya peningkatan luas lahan kelapa sawit dapat menambah jumlah limbah yang dihasilkan. Pada tahun 2019 jumlah limbah biomassa kelapa sawit sebesar 20 juta ton dan pada tahun 2021 meningkat menjadi 22 juta ton. Pertambahan dan peningkatan areal pertanaman kelapa sawit diiringi pertambahan jumlah industri pengolahan menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula. Hal tersebut disebabkan oleh bobot limbah pabrik kelapa sawit (PKS) yang harus dibuang semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, baik kuantitas sumber daya alam, kualitas sumber daya alam, maupun lingkungan hidup. Limbah industri pertanian khususnya industri kelapa sawit mempunyai ciri khas berupa kandungan bahan organik yang tinggi (Susilawati dan Supijatno, 2015).

Produksi 1 ton tandan buah segar (TBS) akan menghasilkan limbah padat berupa TKKS 0,23 ton (23%), cangkang 0,055 ton (5.5%), serat 0,135 ton (13,5%) (Abnisa *et al.*, 2013; Yanti dan Lestari, 2020). Wu (2010) melaporkan bahwa untuk setiap ton produksi CPO dihasilkan limbah cair sekitar 2,5-3 ton, sedangkan Morad *et al.* (2008) melaporkan produksi limbah cair pabrik kelapa sawit dapat mencapai sekitar 0,75 – 0,9 m<sup>3</sup>/t TBS. Limbah cair tersebut berasal dari air berbagai sumber, yaitu kondensat rebusan 36% (150-175 kg/ton TBS), air *drab* klarifikasi 60% (350-450 kg/ton TBS) dan air hidrosiklon 4% (100-150 kg/ton TBS) (Wu, 2010).

Mahajoeno *et al.* (2008) melaporkan hasil analisis limbah cair pabrik kelapa sawit menunjukkan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki nilai pH 4,4-5,4; COD 49,0-63,6g/L; BOD 23,5-29,3g/L; total padatan 26,5-45,4g/L dan padatan terlarut 17,1-35,9g/L. Limbah cair ini juga mengandung unsur hara (N, P dan K) terlarut dalam konsentrasi cukup tinggi. Limbah yang dihasilkan selain limbah padat dan limbah cair, juga menghasilkan limbah gas. Limbah gas yang dihasilkan berupa CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O dari hasil pembakaran boiler dan genset (Anyaocha dan Zhang, 2021).

Berdasarkan ciri khas dari limbah pabrik kelapa sawit yang mengandung bahan organik. Limbah tersebut dapat dimanfaatkan dengan melakukan pengolahan lebih lanjut sehingga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Pengolahan limbah akan bermanfaat selain mencegah pencemaran lingkungan tetapi juga dapat meningkatkan pendapatan usaha perkebunan kelapa sawit. Menurut Yulianti (2013), beberapa contoh pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit yaitu: sebagai bahan pembuatan kompos, limbah padat sebagai bahan bakar *boiler* pada pabrik, penggunaan limbah sebut kelapa sawit sebagai bahan untuk mengolaha limbah cair, pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai komposit *meubel*, pemanfaatan limbah gas, dan pemanfaatan limbah cair sebagai bahan pembuatan biogas.

PT YZ memiliki kapasitas pengolahan sebesar 60 ton TBS/jam dengan produk utamanya berupa minyak sawit (CPO) dan Kernel. Pada industri kelapa sawit PT YZ limbah yang dihasilkan sudah dilakukan penanganan dengan pemantauan kualitas limbah gas sesuai Baku Mutu PER/GUB/SS/No.17/2005 dengan frekuensi pemantauan setiap 6 bulan sekali, memanfaatkan kembali limbah yang terbentuk sebagai bahan bakar boiler (limbah padat cangkang), *land application* (limbah cair terolah) sebagai pupuk tanaman kelapa sawit sehingga perusahaan memperoleh keuntungan dari hasil tersebut. Namun demikian masih terdapat limbah dan *loss* yang seharusnya dapat diminimisasi baik kuantitas ataupun kualitasnya.

Pengelolaan limbah industri tidak semata-mata menurunkan tingkat atau kualitas pencemaran terhadap limbah yang terbentuk (*end of pipe treatment*), namun juga harus dilakukan untuk meminimalkan proses terbentuknya limbah dan peningkatan pemanfaatan limbah secara finansial. Prinsip-prinsip pengelolaan limbah tersebut dinamakan teknologi pengelolaan limbah melalui produksi bersih (*cleaner production*). Produksi bersih merupakan sebuah strategi pengelolaan lingkungan terpadu yang bersifat preventif, proaktif dan antisipatif yang perlu diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan daur hidup produk (UNEP, 2003). Produksi bersih menurut Kementerian Lingkungan Hidup, didefinisikan sebagai strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif,

terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya, sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan (KLH, 2003).

Beberapa teknik produksi bersih yang mudah diterapkan pada industri pengolahan minyak kelapa sawit adalah *good house-keeping* (tata cara operasi yang baik). Pelaksanaan produksi bersih selain berdampak positif terhadap lingkungan juga memberikan keuntungan secara finansial. Secara finansial, penerapan produksi bersih akan mengurangi biaya penanganan limbah serta biaya produksi akibat in-efisiensi. Tata cara operasi yang baik merupakan suatu cara melakukan pekerjaan dengan benar untuk mencapai efektifitas dan efisiensi yang optimal dalam suatu pekerjaan sesuai dengan standar yang berlaku. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa SOP memiliki hubungan yang sangat erat dengan tata cara operasi yang baik (Zein *et al.*, 2019).

Keuntungan yang diperoleh oleh suatu industri apabila menerapkan konsep produksi bersih adalah mengurangi biaya produksi, mengurangi limbah, meningkatkan produktivitas, mengurangi konsumsi energi, meminimalisasi pembuangan limbah termasuk penanganan limbah, dan memperbaiki nilai produk samping (Indrasti dan Fauzi, 2009). Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan peluang kegiatan produksi bersih yang sesuai pada industri kelapa sawit, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi dalam proses pengolahan tandan buah segar kelapa sawit. Berdasarkan uraian latar belakang dan perumusan masalah tersebut, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (1) Mengidentifikasi alur proses pada proses produksi industri pengolahan kelapa sawit dan proses penanganan limbah, (2) Mengidentifikasi alternatif produksi bersih yang dapat dilaksanakan pada produksi industri pengolahan kelapa sawit (3) Menentukan skala prioritas dari peluang produksi bersih pada industri pengolahan kelapa sawit.

Penentuan prioritas dapat ditentukan dengan menggunakan metode perbandingan eksponensial. Marimin dan Magfiroh (2010) menyebutkan MPE merupakan salah satu metode untuk menentukan urutan prioritas alternatif keputusan dengan kriteria jamak. Teknik ini digunakan sebagai pembantu bagi individu dalam pengambilan keputusan untuk menggunakan rancang bangun model yang telah terdefinisi dengan baik pada tahapan proses. MPE mempunyai keuntungan dalam mengurangi bias yang mungkin terjadi dalam analisa. Ada beberapa tahapan dalam menggunakan metode perbandingan

eksponensial, tahapan tersebut yaitu sebagai berikut : (1) Menyusun alternatif-alternatif keputusan yang dipilih; (2) Menentukan kriteria atau perbandingan kriteria keputusan yang penting atau pertimbangan kriteria; (3) Menentukan tingkat kepentingan dari setiap kriteria keputusan atau pertimbangan kriteria; (4) Melakukan penilaian terhadap semua alternatif pada semua kriteria; (5) Menghitung skor atau nilai total pada setiap alternatif; (6) Menentukan urutan prioritas keputusan didasarkan skor atau nilai masing-masing alternatif.

## METODE PENELITIAN

### Tahapan Penelitian dan Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan di industri kelapa sawit PT YZ Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yakni: 1) Mengidentifikasi aliran bahan, produk, dan non produk pada proses produksi industri pengolahan kelapa sawit dan proses penanganan limbah, 2) mengidentifikasi peluang produksi bersih, dan 3) menentukan prioritas produksi bersih dengan menggunakan MPE.

### Identifikasi Alur Proses dan Siklus Material

Analisis pendahuluan dilakukan dengan identifikasi sumber yang diikuti dengan evaluasi penyebab. Fokus kajian pada lima komponen yaitu bahan masukan (input), teknologi yang digunakan, pelaksanaan proses, produk dan limbah yang dihasilkan. Kemungkinan jenis pilihan perbaikan yang dihasilkan berupa substitusi bahan baku, modifikasi teknologi, *good housekeeping*, modifikasi produk yang dihasilkan dan *onsite reuse*. Metode ini menghasilkan fokus pada pengkajian penerapan produksi bersih tahap berikutnya. Tahapan proses pengolahan dikaji secara lebih rinci dan mendalam melalui analisis neraca massa untuk mendapatkan informasi tentang masukan yang digunakan pada proses serta keluaran yang dihasilkan (Indrasti dan Fauzi, 2009).

### Identifikasi Peluang Produksi Bersih

Perencanaan (identifikasi) peluang produksi bersih dilakukan bersama dengan pakar (industri) dengan cara *interview*/wawancara dan juga mengaju pada kajian pustaka yang telah dilakukan sebelumnya sehingga dihasilkan beberapa alternatif. Penyusunan alternatif peluang produksi bersih melalui studi literatur dengan mengumpulkan dan menganalisis data sekunder yang didapatkan dari buku-buku acuan, jurnal dan literatur lainnya. Kemungkinan jenis pilihan perbaikan yang dihasilkan berupa substitusi bahan baku, modifikasi teknologi, *good housekeeping*, modifikasi produk yang dihasilkan dan *onsite reuse*. Setelah dapat ditentukan, maka peluang produksi bersih dianalisis menggunakan analisis kelayakan Teknis (proses produksi, bahan yang

digunakan, peralatan dan teknologi, tenaga kerja) (Indrasti dan Fauzi, 2009), Ekonomi (*BC ratio* dan *Payback Periode*) (Mankiw, 2015) dan Lingkungan (pengaruh atau manfaat yang ditimbulkan pada lingkungan setelah diterapkannya alternatif produksi bersih berupa berkurangnya jumlah dan konsentrasi limbah yang terbentuk) (Maulana *et al.*, 2013).

$$\text{pay back peroid} = \frac{\text{Total Investasi}}{\text{Keuntungan}} \times 12 \text{ bulan}$$

$$\text{BC ratio} \left( \frac{B}{C} \right) = \frac{\text{Total Penerimaan}}{\text{Biaya}}$$

### Penentuan Prioritas Peluang Produksi Bersih dengan MPE (Metode Perbandingan Eksponensial)

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengidentifikasi alur proses produksi dari bahan baku, penggunaan air, proses produksi serta limbah yang dihasilkan, selanjutnya dilakukan identifikasi produksi bersih dan penentuan prioritas peluang produksi bersih dengan Metode Perbandingan Eksponensial (MPE). Pada Tabel 1 menunjukkan tingkat kepentingan kriteria dengan nilai masing-masing kriteria 1-5. Kriteria yang dinilai yaitu kemampuan teknis dan teknologi, aspek finansial, sumber daya manusia, dan lingkungan (Marimin dan Magfiroh, 2010). Penilaian peluang produksi bersih terhadap kriteria menggunakan skala penilaian 1 (kurang baik)-10 (sangat baik). Persamaan MPE adalah sebagai berikut :

$$\text{Total nilai (TN}_i) = \sum_{j=1}^m (\text{RK}_{ij})^{\text{TKK}_j}$$

Dengan:

- TN<sub>i</sub> : Total nilai alternatif ke- i
- RK<sub>ij</sub> : Derajat kepentingan relatif kriteria ke- j pada pilihan keputusan i
- TKK<sub>j</sub> : Derajat kepentingan kriteria keputusan ke- j; TKK<sub>j</sub> > 0; bulat
- n : Jumlah pilihan keputusan
- m : Jumlah kriteria keputusan

Tabel 1. Tingkat kepentingan kriteria

Skala	Keterangan
1	Tidak Penting
2	Cukup Penting
3	Penting
4	Sangat Penting
5	Sangat Penting Sekali

Responden yang dilibatkan untuk analisis MPE meliputi para pakar industri kelapa sawit PT YZ meliputi Manager pabrik, Asisten proses, Asisten *maintenance* dan Asisten laboratorium.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tahapan Proses Produksi

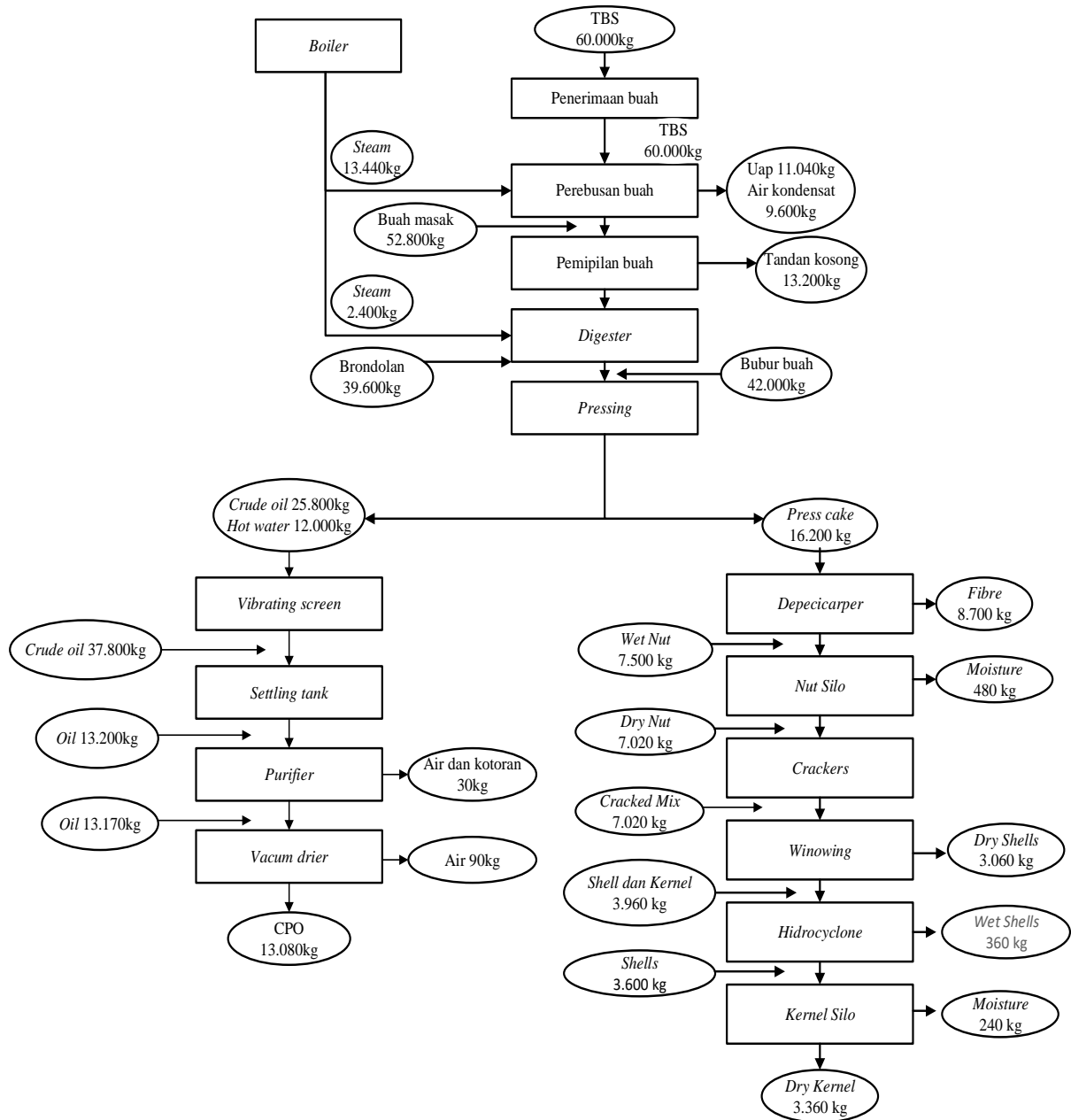
Pada prinsipnya proses pengolahan kelapa sawit adalah proses ekstraksi CPO secara mekanis

dari tandan buah segar kelapa sawit (TBS) yang diikuti dengan proses pemurnian. Proses pengolahan TBS menjadi *Crude Palm Oil* melalui banyak perlakuan dan tahapan. Secara umum tahapan proses pengolahan kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1.

Kebutuhan air untuk kegiatan proses produksi CPO sama dengan banyak tandan buah segar yang diolah. Kebutuhan air yang digunakan tidak semua digunakan untuk kegiatan operasional. Sebanyak 60-65% air digunakan untuk kebutuhan boiler menghasilkan *steam*, 20-24% air digunakan sebagai pengencer dalam operasional (Rahardja, 2019). Jika kapasitas pabrik 60 ton/jam dan jam olah efektif selama 10 jam, maka pabrik harus menyediakan air sebanyak 600 ton air/hari. Air tersebut dimanfaatkan untuk *boiler* kurang lebih 30 ton air/jam. Pada PT YZ pemakaian air pada tahun 2019 pada bulan Januari-Agustus sebanyak 161,417 m<sup>3</sup>. Air yang berasal dari waduk digunakan pada ketel, pengolahan pada stasiun pengempaan dan stasiun pemurnian, pendingin mesin turbin dan lain-lain. Pemakaian air untuk perumahan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari.

Pabrik kelapa sawit pada umumnya membutuhkan sumber energi yang besar untuk menggerakkan mesin-mesin serta peralatan lain yang memerlukan tenaga dalam jumlah besar. Kebutuhan energi tersebut dipasok dari *boiler* dan *generator set* (*genset*). *Boiler* merupakan sebuah bejana bertekanan yang berfungsi untuk memanaskan air guna menghasilkan uap (*steam*) yang nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin. Kemudian uap sisa keluaran dari turbin akan ditampung di sebuah bejana, yaitu *Back Pressure Vessel* (BPV) yang nantinya uap sisa akan disalurkan ke beberapa stasiun yang membutuhkan, di antaranya adalah stasiun rebusan, stasiun pengempaan, stasiun klarifikasi dan stasiun pengolahan biji (Santoso *et al.*, 2019). Proses produksi pada pabrik membutuhkan energi listrik dan uap panas dalam jumlah besar. Pabrik kelapa sawit membutuhkan energi sebesar 17-20 kWh dan 0,35-0,5 ton uap panas per ton tandan buah segar (Chavalparit, 2006; Vijaya *et al.*, 2008; Sommart dan Suneerat, 2011). Besarnya kebutuhan energi pada setiap tahapan pengolahan setelah input energi solar dan biomassa pada stasiun penyediaan energi dikonversikan menjadi energi listrik sehingga input yang diperhitungkan sudah berupa energi listrik. Tabel 2 ditunjukkan kebutuhan energi pada proses pengolahan kelapa sawit.

PT YZ membutuhkan total energi listrik sebesar 0,0298 MJ/kg, solar 0,1784 MJ/kg, dan uap 6,715 MJ/kg yang didapatkan dari sumber energi biomassa yang berasal dari cangkang dan serat kelapa sawit, sedangkan energi listrik berasal dari energi biomassa dan energi solar yang dikonversikan menjadi energi listrik.



Gambar 1. Aliran material pada pengolahan kelapa sawit

Tab 2. Kebutuhan energi pada proses pengolahan kelapa sawit

Kegiatan	Listrik (MJ/kg)	Solar (MJ/kg)	Uap (MJ/kg)
enerimaan buah	0,0008	0,0334	
Perebusan	0,00009		2,566
Penebahan	0,00645		
Pelumatan	0,00122		0,55
Pengempaan	0,00427		0,55
Pemurnian	0,00397		1,466
Storage tank			0,504
Penyediaan energi	0,013	0,145	1,079

Sumber : Laporan PT. YZ 2019

### Strategi Produksi Bersih yang Telah Diterapkan

Proses pengolahan CPO pada PT YZ menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan berupa tandan kosong dari stasiun penebahan buah (*Threshing Station*), serat dan cangkang dari stasiun pengempaan (*Pressing Station*), sedangkan limbah cair yang dihasilkan dari Stasiun Pemurnian Minyak (*Clarification Station*) berupa *effluent* pabrik yaitu lumpur atau *sludge*. Proses pengolahan dan pemanfaatan limbah industri kelapa sawit telah banyak dilakukan termasuk PT YZ yang telah melakukan pengolahan dan pemanfaatan limbah padat dan limbah cair yang dihasilkan sehingga bisa diaplikasikan ke lapangan.

Pada industri kelapa sawit, tandan kosong dimanfaatkan sebagai mulsa. Setiap tandan kosong mengandung unsur hara berupa N, P, K dan Mg. Pemanfaatan tandan kosong sebagai mulsa dapat mereduksi penggunaan pupuk kimia yang biasa digunakan untuk pemupukan pada area perkebunan, baik dosis pemakaian maupun penggunaannya (Sarwono, 2008). Pengaplikasian TKS dapat dilihat pada Tabel 3. Selain memanfaatkan tandan kosong sebagai mulsa, PT YZ juga menjual tandan kosong kepada pihak ketiga atau petani yang membutuhkan tandan kosong. Selain tandan kosong, limbah padat yang dihasilkan industri kelapa sawit berupa serabut dan cangkang. Serabut dan cangkang dimanfaatkan sebagai bahan bakar ketel uap untuk memenuhi kebutuhan uap panas dan pembangkit listrik.

Air buangan pabrik merupakan faktor penyebab pencemaran pada media penerima. Untuk mengatasi pencemaran, air limbah pabrik harus

diproses dan dinetralisasi sebelum dibuang ke lingkungan. Pengendalian limbah (*Raw Effluent*) yang berasal dari stasiun perebusan dan klarifikasi dimulai dari penampungan limbah tersebut pada *fat pit* dengan tujuan untuk mengurangi kadar minyak melalui prinsip pengendapan. Limbah didinginkan dengan cara mengalirkan ke menara pendingin atau dapat dilakukan melalui aliran panjang dan terbuka, kemudian ditampung di kolam limbah. Pada kolam, limbah dikendalikan dengan proses fermentasi anaerobik maupun aerobik. Sistem ini dikenal dengan *pounding system*. Karena limbah cair pabrik kelapa sawit pada dasarnya merupakan bahan organik dan jika mengalami proses degradasi akan menghasilkan unsur hara yang baik untuk dimanfaatkan di perkebunan kelapa sawit (Mahajoeno *et al.*, 2008). Hasil pengolahan limbah cair pada PT. YZ setelah mengalami proses penanganan dapat dilihat pada Tabel 4.

Semua proses dan operasi di pabrik kelapa sawit membutuhkan listrik yang didukung oleh *generator internal*. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, Pemerintah Indonesia mendorong setiap sektor memanfaatkan sumber energi terbarukan, seperti matahari, angin, dan biomassa. (Sylvia *et al.*, 2019). Namun, pembakaran biomassa sering dianggap sebagai salah satu sumber utama partikulat dan emisi gas pencemar. Setiap proses pembakaran diharapkan terjadi dalam mode lengkap, sehingga hasil pembakaran akan menghasilkan energi, karbon dioksida, dan air (Zhang *et al.*, 2017).

Tabel 3. Pengaplikasian TKS, Cangkang dan serabut

Bulan	TKS (kg)	Cangkang (kg)	Serabut (kg)
Januari	628,08	1012,045	2308,173
Februari	982,1	665,903	1513,725
Maret	3488,4	663,045	1512,208
April	2803,2	625,046	1425,544
Mei	1100	734,356	1674,847
Juni	845,5	719,828	1641,712
Juli	661,6	849,826	1928,199
Agustus	522	867,567	1958,662

Sumber: Laporan Tahunan 2019 PT YZ

Tabel 4. Data analisis limbah cair pabrik kelapa sawit

Parameter	Satuan	Inlet	Outlet
Suhu	°C	42	32
TDS	mg/L	3,07	2,02
TSS	mg/L	2.084	174
pH		4,67	8,24
BOD	mg/L	16.856	336
COD	mg/L	51.077	1.294,875
Minyak dan Lemak	mg/L	161,2	20,56

Sumber : PT. YZ, hasil analisis UPTD lab. Lingkungan DLH. Kab. Muba 2019

Limbah udara yang dihasilkan oleh PT YZ berasal dari cerobong asap *boiler* dan cerobong asap mesin *genset*. Pengujian dilakukan enam bulan sekali yang dilakukan oleh Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Sumatera Selatan. Parameter yang diukur meliputi mutu emisi cerobong *boiler*, mutu emisi cerobong *genset* dan pemantauan udara ambien. Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan hasil pemantauan emisi cerobong *boiler* dan cerobong *genset*.

Hasil pemantauan kualitas udara untuk ketel uap (*Boiler*) dan *genset* yang dilakukan uji oleh Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Sumatera Selatan yang melakukan pengukuran sesuai dengan waktu yang ditentukan berdasarkan kontrak kerjasama yang telah dibuat. Untuk pengukuran emisi gas buang pada semester I ditahun 2019 dilakukan pada 28 Maret 2019 menunjukkan dibawah baku mutu emisi sumber tidak bergerak. Untuk pemantauan kualitas udara harian telah dipasang *smoke density* yang berfungsi sebagai pemantau asap yang dikeluarkan dari hasil pembakaran *boiler*. Upaya penanganan yang

dilakukan oleh PT YZ untuk mengurangi cemaran udara dari pembakaran *boiler* dengan pemasangan *dust collector* yang berfungsi untuk untuk membersihkan udara dari banyak sumber debu dan asap.

#### Identifikasi alternatif produksi bersih

Pengoperasian pengolahan limbah pada industri kelapa sawit membutuhkan biaya yang tidak sedikit, maka untuk mengurangi limbah yang terbentuk dapat dilakukan dengan mengaplikasikan potensi kegiatan produksi bersih yang diperoleh. Beberapa teknik produksi bersih yang mudah untuk dilakukan yaitu *good housekeeping*, serta tatacara operasi yang baik (Kuatsar, 2006). Beberapa strategi produksi bersih yang telah diterapkan pada industri kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 7.

Beberapa opsi yang dapat diterapkan di industri kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 8. Opsi atau alternatif strategi tersebut merupakan strategi tambahan yang mungkin untuk diterapkan di industri tanpa meninggalkan prinsip-prinsip produksi bersih yang telah dilakukan.

Tabel 5. Hasil pemantauan mutu emisi cerobong *boiler*

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran Pada Lokasi			PERMEN LH No 21 Th 2008
			3	4	5	
1	Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	620	630	567	1,000
2	Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	mg/Nm <sup>3</sup>	6,10	6,0	6,0	-
3	CO	mg/Nm <sup>3</sup>	113	216	206	600
4	CO <sub>2</sub>	%	4,98	5,05	4,95	-
5	Partikulat	mg/Nm <sup>3</sup>	18,6	19,8	18	-
6	Opasitas	%	<20	<20	<20	-
7	Kecepatan Alir	m/detik	3,09	3,13	3,09	-
8	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/Nm <sup>3</sup>	1,05	1,01	1,0	-

Tabel 6. Hasil pemantauan mutu emisi cerobong *genset*

No	Parameter	SAT	Hasil Analisis		PER/ GUB/SS/No 17/2005
			1	2	
1	Karbon monoksida (CO)	µg/Nm <sup>3</sup>	<1,145	1,145	30,000
2	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	µg/Nm <sup>3</sup>	104	69	900
3	Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	µg/Nm <sup>3</sup>	86,9	43,1	400
4	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	Ppm	0,174	0,103	-
5	TSP	µg/Nm <sup>3</sup>	11,3	12,4	-

Tabel 7. Strategi produksi bersih yang telah diterapkan oleh industri

Strategi	Aktivitas
<i>On site reuse</i>	Pemanfaatan dan pengolahan limbah cair Pemanfaatan limbah padat Pengutipan minyak pada bak <i>fat fit</i>
<i>Good housekeeping</i>	Penggunaan APD pada pekerja Perawatan alat dan mesin pada unit proses Pembersihan area proses produksi

Tabel 8. Potensi penerapan produksi bersih yang dapat diterapkan

Strategi	Aktivitas
Modifikasi Proses	Pembuatan kolam penampung air kondensat dan minyak
<i>Good housekeeping</i>	Pengurangan kotoran pada buah
	Pengontrolan/pengawasan penggunaan air
	Pengurangan ceceran minyak pada <i>digester</i>

Pada Tabel 8 potensi peluang penerapan produksi bersih yang di terapkan yaitu modifikasi proses dan *good housekeeping*. Modifikasi proses yang dapat dilakukan dengan membuat kolam penampungan air kondensat dan minyak. Pemilihan modifikasi dengan cara penambahan kolam penampung air kondensat dan minyak menjadi salah satu upaya atau solusi untuk mengurangi kadar minyak pada air kondensat yang dihasilkan dari proses perebusan. Secara teknis upaya produksi bersih yang dipilih dapat diterapkan untuk meningkatkan rendemen yang dihasilkan. Untuk penambahan kolam penampungan air kondensat dan minyak dilakukan analisis kebutuhan lahan yang tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Analisis kebutuhan lahan kolam penampungan air kondensat dan minyak

Uraian	Nilai
TBS olah (ton/jam)	60
Kondensat (%)	12
<i>Losses</i> minyak dari air kondensat (%)	0,5
Air kondensat yang dihasilkan (m <sup>3</sup> /jam)	7,2
Volume kolam kondensat (m)	2x2x2,5
Potensi kehilangan minyak (m <sup>3</sup> /jam)	0,036
Kebutuhan volume kolam minyak (m)	1x1x1

Bahan yang diperlukan dalam pembuatan kolam penampungan air kondensat dan minyak berupa pompa, katup, pipa karbon steel, pipa sambung dan bahan bangunan seperti pasir, semen, batu bata, batu krikil, besi pondasi, seng, kayu balok dan lampu. Pada analisis kelayakan lingkungan pemilihan modifikasi dengan cara penambahan kolam penampung air kondensat dan minyak menjadi salah satu upaya atau solusi untuk mengurangi kadar minyak pada air kondensat yang dihasilkan dari proses perebusan. Secara teknis upaya produksi bersih yang dipilih dapat diterapkan untuk meningkatkan rendemen yang dihasilkan. Pembuatan kolam penampung air kondensat dapat memberikan keuntungan dalam mengurangi kadar BOD pada *effluent* sehingga berdampak positif terhadap kualitas

limbah. Menurut Maulana *et al.* (2013), adanya penerapan produksi bersih dengan penambahan kolam penampung air kondensat dan minyak dapat meningkatkan rendemen yang dihasilkan serta dapat mengurangi jumlah limbah cair yang akan diolah di unit IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah).

Biaya inventasi yang diperlukan dalam pembuatan kolam air kondensat dan minyak sebesar Rp 125.650.000. Investasi tersebut merupakan biaya untuk membeli bahan dan peralatan yang diperlukan untuk proses penambahan kolam air kondensat dan minyak. Keuntungan yang diperoleh dari penambahan kolam air kondensat dan minyak yaitu Rp 253.837.500/tahun dengan nilai *B/C ratio* 2,5 yang menunjukkan bahwa proyek layak untuk dilaksanakan dengan waktu pengembalian modal atau *pay back period* yaitu 0,50 tahun.

Potensi peluang penerapan produksi bersih yang dapat di terapkan yaitu *good housekeeping* berupa pengurangan kontaminasi pada buah, pengontrolan/pengawasan penggunaan air dan pengurangan ceceran minyak pada *digester*. Pengurangan kontaminasi pada buah dilakukan dengan pelatihan GMP (*good manufacturing practice*). Pada stasiun penerimaan buah dilakukan pemeriksaan kualitas buah yang diterima oleh PKS. Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui adanya kotoran pada buah berupa tanah, pasir dan krikil yang dapat mempengaruhi mutu produk CPO, kerusakan pada mesin serta dapat mengotori lingkungan pabrik. Produksi TBS pada tahun 2019 mencapai 168.573 ton/tahun TBS, kadar kotoran ini mencapai 286,57 ton/tahun. Potensi produksi bersih yang dapat ditawarkan agar permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pelaksanaan *good housekeeping* dengan pengoptimalan SOP yang sudah ada dengan lebih baik. Menurut KLH (2014), *good housekeeping* serangkaian kegiatan yang dilakukan oleh perusahaan atas kemauannya sendiri dalam memperdayakan sumber daya yang dimiliki untuk mengatur penggunaan bahan baku, air dan energi secara optimal dan bertujuan untuk meningkatkan produktifitas kerja dan upaya pencegahan pencemaran lingkungan.

Menurut Winarno dan Suroño (2004), GMP secara luar berfokus dan berakibat banyak aspek, baik aspek operasi pelaksanaan kegiatan produksi yang terjadi di dalam pabrik maupun operasi secara personal. *Good Manufacturing Practice* menjamin produk CPO dan hasil samping yang aman (kontaminasi minimal) dan berkualitas. Ruang lingkup GMP meliputi penerimaan buah, operasi pengolahan buah untuk menghasilkan CPO dan operasi pengolahan inti sawit serta penyimpanan CPO (Siahaan dan Erningpraja, 2005). Pada analisis kelayakan lingkungan pelatihan GMP dapat memberikan dampak positif bagi lingkungan dengan pengurangan kotoran pada buah segar. Biaya investasi untuk pelatihan GMP diperlukan dana sebesar Rp 30.000.000, invetasi yang dikeluarkan



merupakan biaya untuk pelatihan GMP dengan 6 orang perwakilan 3 orang dari divisi kebun dan 3 orang dari divisi proses serta biaya operasional dengan 2 kali perjalanan per 6 bulan sekali. Adanya pelatihan GMP dapat mengurangi biaya perbaikan mesin sebesar Rp 18.350.000/tahun yang sebelum pelatihan biaya perbaikan mesin sebesar Rp 48.350.000/tahun akibat kotoran yang terikut pada proses pengolahan kelapa sawit. Nilai B/C *ratio* yang diperoleh sebesar 1,61 yang menunjukkan bawah pelatihan GMP layak untuk dilaksanakan dan modal akan kembali pada waktu 1,63 tahun. Nilai tambah dari penerapan produksi bersih dengan pelaksanaan GMP dapat menjamin produk CPO yang dihasilkan terhindar dari kontaminasi atau kotoran.

Pengontrolan/pengawasan penggunaan air dilakukan untuk mengurangi kebocoran dan pemborosan dalam penggunaan air pada proses pengolahan kelapa sawit. Pengawasan air dapat dilakukan dengan menggunakan meteran air untuk menghitung jumlah air yang digunakan pada setiap unit proses serta jika terjadi kebocoran pada selang maka diperlukan pergantian selang yang bocor. Berdasarkan perhitungan debit kebocoran yang terjadi pada proses pengolahan di stasiun pemurnian sebesar 0,12 m<sup>3</sup>/jam, jika kebocoran terus terjadi maka dalam satu tahun jumlah kebocoran sebesar 720 m<sup>3</sup> air yang terbuang. Kegiatan produksi bersih yang dapat dilakukan adalah peningkatan *good housekeeping* dengan cara mengganti selang yang bocor, memasang meteran air untuk menghitung jumlah air yang digunakan.

Pada analisis kelayakan teknis strategi penerapan produksi bersih dengan pengawasan air dapat dilakukan dengan penambahan meteran air dan perbaikan kebocoran pada selang air yang bocor. Pada analisis kelayakan lingkungan melalui *good housekeeping* selain memperkecil buangan limbah cair dan juga mengefisiensi penggunaan bahan baku (Generousdi dan Rodesri, 2005). Biaya investasi yang diperlukan untuk pengawasan air sebesar Rp 14.000.000. Investasi yang dikeluarkan merupakan biaya untuk pembelian meteran air, selang air 1 inch serta biaya pemasangan. Keuntungan yang diperoleh setelah pemasangan meteran air dan perbaikan selang yang bocor kebocoran air dapat berkurang sebesar 504 m<sup>3</sup>/tahun dengan harga air Rp 12.000 per m<sup>3</sup>. Nilai B/C *ratio* yang diperoleh sebesar 2,16 yang menunjukkan nilai B/C *ratio* besar dari satu sehingga penambahan meteran air dan perbaikan selang air layak untuk dilaksanakan dengan waktu pengembalian modal atau *pay back period* pada waktu 4,31 tahun. Pengawasan air dengan perbaikan selang dan pemasangan meteran air dapat menghemat biaya air sebesar Rp 3.248.000/tahun dan penerapan produksi ini layak untuk diterapkan. Menurut Nugraha *et al.* (2018), penerapan produksi bersih dengan pengontrolan/pengawasan air dapat memberikan nilai tambah dalam penggunaan air

sehingga dapat mengurangi jumlah limbah cair yang terbuang ke lingkungan.

Pengurangan cecceran minyak CPO pada *digester*. Pada tabung *digester* terdapat cecceran minyak yang terjadi karena adanya kebocoran pada tangki dan pipa pada *digester*. Minyak tersebut dapat mengakibatkan cecaran pada lantai, sehingga menyebabkan permukaan licin tidak aman bagi pekerja. Berdasarkan pengukuran terhadap kebocoran minyak pada *digester* di stasiun pengempaan minyak yang keluar sebesar 5 kg. Jika kebocoran terus berlanjut selama setahun maka jumlah cecceran minyak CPO sebesar 1.500 kg. Kegiatan produksi bersih yang dapat dilakukan adalah dengan peningkatan *good housekeeping* dengan cara memperbaiki pipa dan tangki yang bocor.

Biaya investasi yang diperlukan untuk mengurangi cecceran minyak pada *digester* sebesar Rp 12.800.000. Investasi yang dikeluarkan merupakan biaya untuk peralatan perbaikan serta biaya perbaikan. Keuntungan yang diperoleh setelah perbaikan pipa dan tangki *digester* dapat berkurang sebesar 1.500 kg/tahun dengan harga CPO sebesar Rp 12.000 per kg. Nilai B/C *ratio* yang diperoleh sebesar 1,48 yang menunjukkan nilai B/C *ratio* besar dari satu sehingga perbaikan tangki dan pipa *digester* layak untuk dilaksanakan dengan waktu pengembalian modal atau *pay back period* pada waktu 6,30 tahun. Pengurangan cecceran minyak dengan perbaikan tangki dan pipa dapat menghemat biaya sebesar Rp 2.033.333/tahun dan penerapan produksi ini layak untuk diterapkan.

### Analisis Peluang Produksi Bersih

Pengambilan keputusan merupakan suatu cara memilih berbagai alternatif di antara prioritas penerapan produksi bersih yang bertujuan untuk memberikan penilaian terhadap semua peluang produksi bersih yang direkomendasikan. Hasil dari penilaian tersebut digunakan untuk menentukan urutan dari nilai terbesar hingga terkecil. Pada faktor kriteria yang digunakan seperti kemampuan teknis, aspek finansial dan lingkungan menggunakan studi literatur, sedangkan bobot kriteria diperoleh dari penilaian para pakar di industri kelapa sawit tersebut. Hasil dari pembobotan kriteria menunjukkan bahwa aspek lingkungan sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penentuan strategi produksi bersih yang akan diterapkan.

Terdapat empat strategi produksi bersih yang diperoleh dari penelitian ini yaitu *good housekeeping* untuk mengurangi kontaminasi pada buah, *good housekeeping* untuk mengurangi cecceran minyak pada *digester*, *good housekeeping* pengawasan terhadap penggunaan air dan memodifikasi proses dengan membuat kolam penampung air kondensat. Berdasarkan hasil analisis penilaian dari para pakar diperoleh urutan prioritas produksi bersih yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pemilihan prioritas potensi produksi bersih dengan metode MPE

Alternatif Produksi Bersih	Nilai MPE	Tingkat prioritas
Pembuatan kolam penampung air kondensat dan minyak	386,74	3
Pengurangan Kontaminan pada buah	81,539	4
Pengontrolan/pengawasan penggunaan air	526,93	2
Pengurangan cecceran minyak pada digester	1815,5	1

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 10 tingkat prioritas utama pada produksi bersih dari penilaian yang diperoleh berdasarkan kriteria teknis, finansial dan lingkungan diperoleh yaitu peningkatan *good housekeeping* untuk mengurangi cecceran minyak pada *digester* dan pengontrolan/pengawasan penggunaan air sebagai prioritas utama untuk melaksanakan produksi bersih. Menurut Zein *et al.* (2019), dengan adanya peningkatan *good housekeeping* pada pengurangan cecceran minyak pada *digester* dapat meningkatkan rendeman yang akan dihasilkan dan mengurangi kerugian dari kebocoran yang terjadi pada *digester*. Pengontrolan penggunaan air merupakan upaya pencegahan dalam penggunaan air dalam proses produksi sehingga dapat meminimasi limbah cair yang terbuang ke lingkungan (Maulana *et al.*, 2013). Perusahaan dapat menerapkan seluruh potensi strategi produksi bersih tersebut berdasarkan tingkat prioritas yang telah dinilai.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Proses pengolahan kelapa sawit di PT YZ menunjukkan masih adanya permasalahan yang perlu perbaikan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja industri kelapa sawit. Permasalahan yang masih terdapat pada proses pengolahan kelapa sawit yaitu masih adanya kontaminasi pada buah, tingginya kadar minyak pada air kondensat dari hasil perebusan, adanya cecceran minyak pada *digester* yang menyebabkan permukaan lantai licin yang dapat membahayakan para pekerja serta masih adanya pemborosan penggunaan air.

Penerapan peluang produksi bersih dengan peningkatan *Good housekeeping* dan adanya modifikasi proses pada pengolahan kelapa sawit. Hasil analisis MPE menunjukkan prioritas yang potensial untuk industri kelapa sawit PT YZ yaitu pengurangan cecceran minyak pada *digester*. Penerapan produksi bersih layak secara ekonomis karena memenuhi nilai B/C ratio lebih dari satu, secara teknis mudah dilaksanakan dan memberikan dampak positif bagi lingkungan pabrik.

### Saran

Penegasan *good housekeeping* perlu dilakukan terus menerus dengan terkendali sehingga dapat mengurangi cecceran minyak CPO dan air yang dapat

merugikan perusahaan. Penelitian produksi bersih yang telah dilakukan dapat menjadi dasar untuk meningkatkan kinerja industri kelapa sawit dengan preventif lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa F, Arami-Niya A, Wan Daud WMA, Sahu JN, Noor M. 2013. Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Journal Energy Conversion and Management*. 76:1073-1082.
- Anyaoha KE dan Zhang L. 2021. Renewable energy for environmental protection: Life cycle inventory of Nigeria's palm oil production. *Journal Resources, Conservation & Recycling* 174 (2021) 105797 page 1-11 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105797>
- Barcelos E, de Almeida Rios S, Cunha RNV, Lopes R, Motoike SY, Babiychuk E, Aleksandra S and Kushnir S. 2015. Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Journal Frontiers in Plant Science*. 6:190.
- Corley RHV. 2009. How much palm oil do we need. *Journal Environmental Science and Policy*. 12:134-9.
- Chavalparit WH, Rulkens APJ, Mol S, Khaodir. 2006. Option for environmental sustainability of the crude palm oil industry in thailand through enhancement of industrial ecosystem. *Environment, Development and Sustainability*. 8:271-287
- Generousdi RM. 2005. Penerapan teknologi produksi bersih pada industri elektroplating Jambi. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1):1-8.
- Indrasti NS dan Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor (ID): IPB Press
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *Kebijakan Produksi Bersih Nasional*. Jakarta: KLH.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014: Baku Mutu Air Limbah. Jakarta (ID). KemenLH
- Kementerian Perindustrian RI. 2020. Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit. [internet]. [diunduh 2 juli 2020].

- <https://kemenperin.go.id/artikel/22348/Industri-Produk-Sawit-Nasional>
- Mahajoeno E, Lay BW, Sutjahjo SH, Siswanto. 2008. Potensi limbah cair pabrik minyak kelapa sawit untuk produksi biogas. *Jurnal Biodiversitas*. 9:48-52
- Marimin dan Magfiroh N. 2010. *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan dalam Manajemen Rantai Pasok*. Bogor (ID): IPB Press.
- Maulana P, Bantacut T, dan Suprihatin. 2013. Application of cleaner production in palm oil mill: A case study at PT Perkebunan Nusantara IV Adolina Business Unit Perbaungan North Sumatera Indonesia. *International Knowledge Sharing Platform. Journal Chemistry and Materials Research*. 6 (12): 2014.
- Mankiw NG. 2015. *Principles of Economics* 7th Ed. USA: 139781285165875.
- Nugraga AW, Suparno O, dan Indrasti NS. 2018. Analisis material, energi dan toksisitas (MET) pada industri penyamakan kulit untuk identifikasi strategi produksi bersih. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 28(1):48-60.
- Pacheco P, Gnych S, Dermawan A, Komarudin H, Okarda B. 2017. The palm oil global value chain: Implications for economic growth and social and environmental sustainability. *Working Paper* 220. Page :1-38. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Rahardja IB. 2019. Perhitungan jumlah bahan kimia pada *external water treatment* (Studi Kasus Di PMKS XYZ Kalimantan Tengah). *Jurnal Citra Widya Edukasi*. 11(1): 77-82
- Santoso B, Siregar AL, dan Lestari I. 2019. Perhitungan Debit Boiler dan Ketercapaian Kebutuhan Uap Pabrik Kapasitas 45ton/jam. *Jurnal Citra Widya Edukasi*. 11(1): 2086-0412.
- Sarwono W. 2008. Pemanfaatan janjang kosong sebagai substitusi pupuk tanaman kelapa sawit. *Jurnal Aplikasi*. 8 (1).
- Susilawati dan Supijatno. 2015. Pengolahan limbah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) di perkebunan kelapa sawit, Riau. *Jurnal Buletin Agrohorti*. 3(2): 203-212.
- Sommart K dan Suneerat P. 2011. Assessment and Improvement of Energy Utilization in Crude Palm Oil Mill. *International Conference on Chemistry and Chemical Process IPCBEE vol.10 (2011) © (2011) IACSIT Press, Singapore*
- Sylvia N, Yunardi, Husni H, Muslim A. 2020. CO<sub>2</sub> emission management in palm oil industries in Indonesia: a review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 845: 1-10. doi:10.1088/1757-899X/845/1/012037
- [UNEP] United Nations Environment Programs. 2003. Resource Efficient and Cleaner Production. [Diakses pada 20 Juli 2018]. Di dalam : <http://www.unep.org/recp/>
- Vijaya S, Ma AN, Choo YM, Nik Meriam NS. 2008. Life cycle inventory of the production of crude palm oil – A gate to gate case study of 12 palm oil mills. *Journal of Oil Palm Research*. 20:484-494
- Winarno FG dan Suroso. 2004. *GMP: Cara Pengolahan Pangan yang Baik*. Bogor: M-Brio Press.
- Wu TY, Mohammad AW, Jahim JM, Anuar N. 2010. Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal Environ Management*. 9:1467-1490.
- Yanti RN dan Lestari I. 2020. Potensi limbah padat perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau. Wahana Forestra: *Jurnal Kehutanan*. 2:1885-4209.
- Yulianti R. 2013. Penerapan produksi bersih pada pabrik minyak kelapa sawit dengan pengolahan limbah secara terpadu. [Makalah Pengolahan Limbah Agroindustri]. Fakultas Teknik. UNMUL.
- Zein M, Lestari E, dan Aru A. 2019. Analisis teknik penerapan produksi bersih pada proses pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) dan inti sawit (kernel) di PT. JY. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*.23(2): 179-186.
- Zhang Y, Sivakumar M, Yang S, Enever, Ramezaniapour KM. 2017. Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Journal Desalination*. 428: 116–145, DOI: 10.1016/j.desal.2017.11.020.