

Strategi Penerapan Produksi Bersih (*Clean Production*) di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA

Teguh Sugeng Rahayu Widodo^{1*}, Suwondo¹, Zulkifli¹

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru, Riau, Indonesia 28293
email: artha_april@yahoo.com, wondo_su@yahoo.co.id, zulkifli69.ik@gmail.com

<p><i>Received</i> 3 January 2024</p> <p><i>Revised</i> 10 January 2024</p> <p><i>Accepted</i> 29 July 2024</p>	<p>Abstrak</p> <p>Industri kelapa sawit diproyeksikan akan mencapai 240 juta ton permintaan produksi pada tahun 2050, yang membutuhkan pabrik pengolahan efisien dengan penanganan limbah sesuai standar. Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA, berfokus pada pengolahan kelapa sawit dan memproduksi minyak sawit (CPO) dan inti sawit. Limbah padat, cair, dan gas merupakan hasil samping dari pengolahan. Konsep produksi bersih diajukan sebagai solusi holistik dengan dampak ekologis, ekonomis, sosial, dan teknis positif. Pemborosan dan kerugian di berbagai stasiun produksi, menekankan perlunya pengurangan kuantitas dan peningkatan kualitas. Limbah buah kelapa sawit berserakan dan kebocoran minyak menciptakan lingkungan berisiko tinggi dan kurang nyaman bagi pekerja. Penelitian ini bertujuan menganalisis strategi produksi bersih di Pabrik PT. Kelapa Sawit SPA, mengevaluasi implementasi, mengidentifikasi faktor dominan, dan menetapkan prioritas strategis. Survei lapangan, observasi, dan wawancara digunakan dengan metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) untuk analisis deskriptif kuantitatif. Hasil menunjukkan program <i>housekeeping</i> efektif sebagai strategi utama, dengan pemahaman, kesadaran, dan partisipasi karyawan sebagai faktor utama. Perbaikan perlu diterapkan, menggarisbawahi pentingnya produksi bersih dalam pabrik kelapa sawit.</p> <p>Kata Kunci: produksi bersih, limbah industri, strategi pengelolaan limbah</p>
<p><i>*Correspondence</i> Teguh Sugeng Rahayu Widodo Email: artha_april@yahoo.com</p>	<p>Abstract</p> <p><i>The palm oil industry is projected to reach 240 million tons of production demand in 2050, which requires efficient processing plants with waste handling according to standards. Palm Oil Factory PT. SPA, focuses on processing palm oil and producing palm oil (CPO) and palm kernel. Solid, liquid and gas waste are by-products of processing. The concept of clean production is proposed as a holistic solution with positive ecological, economic, social and technical impacts. waste and losses at various production stations, emphasizing the need to reduce quantity and improve quality. Scattered palm fruit waste and oil leaks create a high risk and uncomfortable environment for workers. This research aims to analyze the clean production strategy at the PT Factory. Palm Oil SPA, evaluating implementation, identifying dominant factors, and setting strategic priorities. Field surveys, observations and interviews were used with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method for quantitative descriptive analysis. The results show an effective housekeeping program as the main strategy, with employee understanding, awareness and participation as the main factors. Improvements need to be implemented, underscoring the importance of clean production in palm oil mills.</i></p> <p>Keywords: clean production, industrial waste, waste management strategy</p>

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit mengalami pertumbuhan signifikan setiap tahunnya, dengan proyeksi produksi mencapai 240 juta ton pada tahun 2050 (Corley, 2009). Sebagai pilar utama dalam sektor perkebunan Indonesia, kelapa sawit berkontribusi pada produksi minyak sawit dan inti sawit serta mendukung pendapatan devisa negara dari sektor non-migas (Nurhayati et al., 2023). Keunggulan kelapa sawit terletak pada biaya produksi yang ekonomis dan permintaan pasar yang terus meningkat dibandingkan dengan bahan baku minyak lainnya (Supraniningsih, 2012). Guna memenuhi permintaan yang terus tumbuh, luas area perkebunan kelapa sawit terus ditingkatkan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2019, luas area perkebunan mencapai 2.605.026 hektar, meningkat menjadi 2.801.668 hektar pada tahun 2021 (Yanti & Hutasuhut, 2020). Namun, pertumbuhan ini juga berpotensi meningkatkan volume limbah industri secara signifikan. Pada tahun 2019, jumlah limbah biomassa dari kelapa sawit mencapai 20 juta ton, meningkat menjadi 22 juta ton pada tahun 2021 (Azzahro et al., 2022).

Peningkatan signifikan dalam produksi limbah ini berasal dari ekspansi luas area perkebunan, pertumbuhan jumlah fasilitas pengolahan kelapa sawit, dan

peningkatan jumlah Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) (Putra, n.d.). Dampak limbah selama proses pengolahan kelapa sawit dapat merugikan lingkungan, terutama terkait kualitas sumber daya alam dan ekosistem. (Pakpahan & Firdaus, 2020). Limbah cair dari pabrik kelapa sawit, yang mengandung minyak kelapa sawit dan limbah organik, dapat mencemari sumber air, berpotensi membahayakan kehidupan akuatik, dan mengancam kesehatan manusia (ANDAN, 2022). Selain itu, limbah padat seperti tandan kosong, serat kelapa sawit, dan lumpur dapat mencemari tanah, menyebabkan degradasi lahan, dan menghambat pertumbuhan tanaman di masa depan (Alamin, 2023). Deforestasi yang sering terjadi untuk membuka lahan perkebunan kelapa sawit dapat merusak habitat alami, menyebabkan kehilangan berbagai spesies tumbuhan dan hewan (Nakita & Najicha, 2022). Selain itu, pembakaran limbah kelapa sawit dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca, berkontribusi pada perubahan iklim global. PT. SPA (Sei Pagar) menjadi salah satu pabrik kelapa sawit yang mengimplementasikan pengelolaan limbah gas sesuai standar kualitas limbah Baku Mutu PER/GUB/SS/No.17/2005. Pabrik ini mampu mengolah 30-ton tandan buah segar (TBS) per jam, menghasilkan produk

utama berupa minyak sawit (CPO) dan inti sawit (Kernel).

Proses pengolahan kelapa sawit di PKS PT. SPA dimulai dengan penerimaan TBS, di mana operator memperhatikan sistem grading dan mencegah kontaminan seperti tanah, pasir, dan karung agar tidak masuk ke dalam proses. Ceceran brondolan dan tangkos pada lantai sortasi juga harus dihindari karena dapat mempengaruhi losses yang tidak terdeteksi dan mengotori lingkungan. Setelah itu, TBS dimasukkan ke dalam rebusan, di mana tekanan rebusan menjadi faktor kunci. proses rebusan, seperti kebocoran uap dan ceceran minyak, dapat mempengaruhi hasil akhir. Pada stasiun penebah, TBS dibanting untuk membentuk brondolan yang selanjutnya masuk ke proses pengempaan. Keberhasilan pengempaan tergantung pada faktor isian digester, suhu, dan tekanan. Minyak crude oil yang dihasilkan kemudian dimurnikan di stasiun klarifikasi, sementara serat dari pengempaan diproses di stasiun nut dan kernel untuk dipisahkan antara serat dan nut. Nut hasilnya akan diproses kembali menjadi inti sawit. Setiap ton TBS menghasilkan limbah padat, termasuk tangkos (23%), cangkang (5,5%), dan serat (13,5%) (Abnisa et al., 2013). Limbah cair, berkisar antara 0,70 hingga 0,90 m³ per ton TBS. Limbah cair ini berasal dari

kondensat rebusan 36% dan air hidrosiklon 4% (Wu et al., 2010).

Meskipun PT. SPA telah mengimplementasikan standar pengolahan, namun masih terdapat limbah dan kerugian yang dapat diminimalkan di setiap tahap produksi pabrik, termasuk buah sawit berondolan tercecer, ceceran minyak sawit, ceceran inti sawit dan kebocoran pipa yang mengakibatkan terbuangnya air. Ini tidak hanya berdampak pada lingkungan pabrik, namun juga meningkatkan risiko kecelakaan kerja (Doan Otanti Agustina et al., 2021). Oleh karena itu, perlu diambil tindakan untuk menerapkan konsep produksi bersih, terutama melalui manajemen limbah.

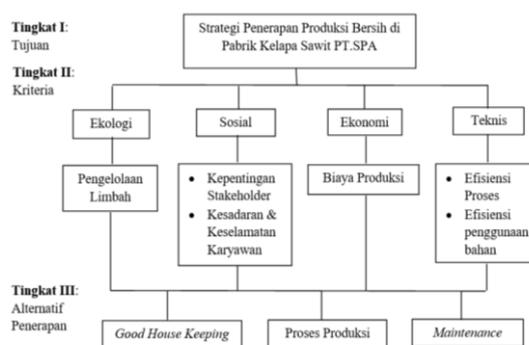
Manajemen limbah di industri tidak hanya bertujuan mengurangi pencemaran, tetapi juga meminimalkan pembentukan limbah dan meningkatkan pemanfaatan limbah secara ekonomis. Produksi bersih, sebagai strategi pengelolaan lingkungan, bersifat preventif, proaktif, dan antisipatif. Tujuannya adalah meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mencegah pencemaran, dan mengurangi (Maykewati, 2017) pembentukan limbah sejak awal produksi. Hingga saat ini, informasi atau dokumentasi penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA belum tersedia. Oleh karena itu, penelitian ini

diperlukan untuk memahami kondisi eksisting, faktor-faktor dominan, dan langkah-langkah strategis dalam menerapkan produksi bersih di pabrik kelapa sawit PT. SPA.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA Kabupaten Kampar Riau pada Agustus–September 2023. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kualitatif. Data primer dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan kuesioner di lokasi penelitian. Data sekunder diperoleh dari catatan perusahaan, laporan jurnal, dan sumber data lain. Analisis data dilakukan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menggunakan Software Expert Choice 11 tahun 2022. Sampel kuesioner terdiri dari 20 responden yang dipilih berdasarkan peran penting dalam implementasi produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA. Tahapan penelitian melibatkan analisis kondisi eksisting melalui inspeksi walk-through dengan daftar periksa, analisis faktor dominan ekologi, sosial, ekonomi, dan teknis, serta perumusan strategi penerapan produksi bersih di PT.SPA. Dalam proses ini, data

akan dirangkum dan dianalisis menggunakan metode AHP untuk memprioritaskan model produksi bersih yang sesuai. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan dalam Gambar 1 terkait klasifikasi dan tingkatan variabel.



Gambar 1. Hierarki Strategi Penerapan Produksi Bersih di PT.SPA

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Kondisi Eksisting Penerapan Produksi Bersih di PKS PT. SPA

Proses pengolahan kelapa sawit pada PT. SPA secara prinsip adalah ekstraksi mekanis CPO dari Tandan Buah Segar (TBS), diikuti dengan pemurnian minyak dan pengolahan biji (kernel). Meskipun umumnya telah menerapkan produksi bersih seperti yang tercantum dalam Tabel 1, namun masih ditemukan kondisi yang tidak sepenuhnya sesuai dengan prinsip produksi bersih.

Tabel 1. Tahapan Kegiatan Penerapan Produksi Bersih pada Proses Produksi PT. SPA

No	Tahapan Kegiatan	Penerapan Produksi Bersih	Keterangan
1	Timbangan	Melakukan pemeriksaan terhadap kendaraan truk TBS atas barang-barang yang bukan TBS dan brondolan.	Untuk memastikan pelaksanaan penimbangan TBS yang dipasok oleh kebun inti, plasma dan pembelian terlaksana dengan benar dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2	Penerimaan Buah	Konsisten melaksanakan SOP/IK Sortasi, memungut kontaminan buah seperti karung, plastik dan batu untuk meminimalkan kotoran masuk kedalam proses pengolahan. Disamping itu, mengurangi pemakaian loader untuk mengantisipasi kerugian yang tidak terukur seperti banyaknya jumlah beondolan yang terlindas loader serta melaksanakan pengutipan kembali berondolan yang tercecer di area sortasi.	Memastikan bahwa sortasi TBS yang diterima terlaksana dengan benar dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3	Perebusan TBS	Memastikan tidak terdapat kebocoran pada instalasi rebusan untuk menjaga tekanan rebusan sesuai dengan tahapan rebusan dari puncak 1 sampai dengan puncak 3 dan perbaikan jika terdapat kebocoran instalasi serta mengurangi ceceran minyak pada area rebusan dengan melaksanakan pembersihan secara periodik.	Memastikan pengoperasian sterilizer untuk merebus TBS dalam lori terlaksana dengan benar dan tepat di unit pabrik kelapa sawit.
4	Proses penebah	Melaksanakan pengoperasian thressing sesuai SOP/IK dan melakukan pengutipan kembali terhadap ceceran brondolan serta menyingkirkan tangkos yang jatuh di area thressing. Namun masih dijumpai penuangan TBS rebus terlalu penuh dan celah besar pada kisi-kisi thressing belum ditutup.	Memastikan pengoperasian thresher untuk memipil brondolan dari TBS rebus terlaksana dengan benar dan tepat di unit pabrik kelapa sawit.
5	Proses ekstraksi	Penerapan SOP/IK pengoperasian digester dan press. Namun pada kondisi dilapangan masih kita jumpai ceceran minyak dari digester. Hal ini disebabkan adanya kebocoran pada body digester dan terlalu penuh melebihi kapasitas.	Memastikan pengoperasian screw press dalam mengekstraksi daging buah rebus terlaksana dengan benar.
6	Proses pemurnian minyak	Penerapan pengoperasian SOP/IK pada proses pemurnian minyak dari proses pengoperasian crude oil tank, pengoperasian vertical settling tank, pengoperasian oil tank dan pengoperasian storage tank. Namun masih dijumpai ceceran minyak dan sludge dilantai pada area klarifikasi akibat kebocoran instalasi.	Memastikan pengoperasian pemisahan dan pemurnian minyak dari air, lumpur, minyak kasar terlaksana dengan benar.
7	Proses pengolahan biji	Penerapan pengoperasian SOP/IK pada proses pengolahan biji dari proses pengoperasian cake break conveyor, pengoperasian ripple mill, pengoperasian LTDS 1 LTDS 2, pengoperasian hydrocyclone dan pengoperasian kernel silo.	Memastikan pengoperasian kernel silo dalam proses pengeringan inti sawit dari LTDS 1, LTDS 2 dan <i>Hidrocyclone</i> terlaksana dengan benar.

No	Tahapan Kegiatan	Penerapan Produksi Bersih	Keterangan
8	Proses water treatment	Penerapan SOP/IK proses water treatment dan mengendalikan kebocoran instalasi perpipaan. Namun masih dijumpai instalasi pipa yang bocor belum mendapat perbaikan.	Memastikan pengoperasian proses pengolahan air (water treatment) terlaksana dengan benar dan tepat.
9	Proses energi/ boiler	Penerapan SOP/IK proses pengoperasian boiler dan mengendalikan efisiensi pemakaian energi dan melakukan perawatan instalasi part pada equipment pendukung boiler. Namun masih dijumpai ceceran air pada packing electric pump yang mengalami kebocoran dan belum dilakukan perbaikan.	Memastikan pengoperasian boiler dalam menghasilkan steam untuk pembangkit Listrik dari turbin terlaksana dengan benar dan tepat.

Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA memanfaatkan tandan kosong sebagai mulsa atau bahan penutup untuk tanaman. Setiap tandan kosong mengandung unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan magnesium (Mg). Pemanfaatan tandan kosong sebagai mulsa membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang biasanya digunakan untuk pemupukan di area perkebunan. Hal ini mencakup pengurangan dosis pemakaian dan frekuensi penggunaan pupuk kimia, sesuai dengan studi yang dilakukan oleh (Sarwono, 2008).

Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA tidak hanya memanfaatkan tandan kosong sebagai mulsa, tetapi juga menjual tandan kosong kepada pihak ketiga atau petani yang memerlukan. Selain tandan kosong, limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik termasuk serat dan cangkang. Serat dan cangkang ini digunakan sebagai bahan bakar untuk ketel uap (boiler) guna memenuhi kebutuhan akan uap panas dan

pembangkit listrik. Data lebih lanjut mengenai pemanfaatan tandan kosong dan limbah padat dapat ditemukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaplikasian Tankos, Cangkang dan Serat

Bulan	Tankos (kg)	Cangkang (kg)	Serat (kg)
Januari	4.169.459	1.287.920	2.092.432
Februari	2.085.297	631.687	1.132.890
Maret	2.876.525	876.622	1.579.923
April	2.653.220	853.800	1.441.939
Mei	4.526.402	1.451.901	2.436.401
Juni	4.334.326	1.347.743	2.440.269
Juli	4.665.262	1.526.747	2.489.233
Agustus	4.502.075	1.387.299	2.466.223
September	4.577.237	1.395.462	2.500.674

Sumber : Laporan Tahunan 2023 PT. SPA

Dari **Tabel 2** menunjukkan pengaplikasian limbah padat menjadi *by product* seperti tangkos, cangkang dan serat yang dikelola serta di dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan pabrik baik sebagai bahan energi maupun sebagai bahan baku penjualan *by product*.

Air limbah dari pabrik merupakan salah satu penyebab pencemaran di lingkungan penerima. Untuk mengatasi pencemaran ini, air limbah pabrik harus diolah dan dinetralisasi sesuai standar kualitas sebelum digunakan sebagai aplikasi lahan (*land application*) di

perkebunan. Pengelolaan limbah (*Raw Effluent*) yang berasal dari stasiun perebusan dan klarifikasi dimulai dari pengumpulan limbah tersebut di fat pit dengan tujuan untuk mengurangi kandungan minyak melalui proses pengendapan. Limbah kemudian dialirkan melalui aliran panjang dan terbuka sebelum ditampung di kolam limbah. Di kolam limbah, pengelolaan limbah dilakukan melalui proses fermentasi *anaerobik* dan *aerobik*. Sistem ini dikenal sebagai sistem "ponding." Seiring dengan karakteristik limbah cair dari pabrik kelapa sawit yang pada dasarnya bersifat organik, melalui proses degradasi dapat menghasilkan unsur hara yang bermanfaat untuk perkebunan kelapa sawit, seperti yang dijelaskan oleh (Mahajoeno et al., n.d.). Hasil dari pengolahan limbah cair di pabrik kelapa sawit PT. SPA setelah melalui proses penanganan dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data Analisis Limbah Cair. Pabrik Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode
TSS*	mg/L	182	SNI 6989.3:2019
pH**	-	7.30	SNI 6989.11:2019
Tembaga (Cu)*	mg/L	<0.010	SNI 6989.84:2019
Seng (Zn)*	mg/L	<0.020	SNI 6989.84:2019
Kadmium (Cd)*	mg/L	<0.010	SNI 6989.84:2019
Timbal (Pb)*	mg/L	<0.060	SNI 69.89.84:2019
Amoniak*	mg/L	15.23	SNI 06-6989.30-2005
BOD*	mg/L	1019.62	SNI 6989.72:2009
COD*	mg/L	3181.74	SNI 6989.73:2009
Minyak Lemak*	mg/L	14.10	SNI 6989.10:2011

Note: (*) Parameter terakreditasi KAN (ISO/IEC 17025)
 - Nilai Baku Mutu untuk parameter pH: 6.0 - 9.0
 - Nilai Baku Mutu untuk parameter BOD: 5000
 Sumber: PKS PT SPA, hasil analisis PT. ITEC Solution Indonesia 2023

internal. Sebagai langkah untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, Pemerintah Indonesia mendorong setiap sektor untuk menggunakan sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya, tenaga angin, dan biomassa (Sylvia et al., 2020). Meskipun demikian, pembakaran biomassa sering dianggap sebagai salah satu sumber utama dari partikulat dan emisi gas pencemar. Diharapkan setiap proses pembakaran dapat berjalan secara sempurna, sehingga hasil pembakaran hanya menghasilkan energi, karbon dioksida, dan uap air (Zhang et al., 2018).

Limbah udara yang dihasilkan oleh Pabrik Kelapa Sawit PT SPA berasal dari cerobong asap boiler dan cerobong asap mesin genset. Pengujian ini dilakukan setiap 6 bulan sekali oleh Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Riau. Parameter yang diukur mencakup kualitas emisi dari cerobong boiler, kualitas emisi dari cerobong genset, serta pemantauan kualitas udara ambien. Hasil dari pemantauan emisi cerobong boiler dan cerobong genset dapat ditemukan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Dalam operasi pabrik kelapa sawit, seluruh proses memerlukan pasokan listrik yang diperoleh dari generator

Tabel 4. Hasil Pemantauan Mutu Emisi Cerobong Boiler

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Ukur	Metode
1	Partikular*	mg/m ³	300	12.54	SNI 71117.17:2009
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)*	mg/m ³	600	21.70	HALQILAB-IK72106
3	Nitrogen Oksida (NO _x)*	mg/m ³	800	211.20	HALQILAB-IK72106
4	Hidrogen Klorida (HCl)	mg/m ³	5	<0.38	SNI 19-7117.8-2005
5	Gas Klorin (Cl ₂)	mg/m ³	5	<0.015	HALQILAB-IK73108
6	Amoniak (NH ₃)	mg/m ³	1	0.023	HALQILAB-IK72106
7	Hidrogen Fluorida (HF)	mg/m ³	8	<0.11	SNI 19-7117.8-2005
8	Karbon Monoksida (CO)*	mg/m ³	-	1304.57	HALQILAB-IK72106
9	Opasitas	%	30	<20	SNI 19-7117.8-2005
10	Karbondioksida (CO ₂)	%	-	2.70	HALQILAB-IK72106
11	Oksigen (O ₂)	%	-	16.9	HALQILAB-IK72106
12	Persen Isokinetik	%	90-110	100.2	SNI 7117.17:2009
13	Kecepatan Gas Buang*	m/s	-	27.42	SNI 7117.17:2009
14	Suhu udara	°C	-	31.0	HALQILAB-IK72106
15	Eff. Pembakaran cerobong	%	-	86.63	HALQILAB-IK73107

Sumber: PKS SPA, hasil Analisa Laboratorium PT. Halqilab Karya Indonesia 2023

Dari hasil pemantuan kualitas udara mutu emisi cerobong boiler pada tabel 4 yang dilakukan oleh PT. Halqilab Karya Indonesia menunjukkan bahwa emisi gas buang cerobong boiler berada di bawah baku mutu emisi dari sumber tidak bergerak. Upaya penanganan yang dilakukan oleh Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA untuk mengurangi pencemaran udara dari pembakaran boiler termasuk pemasangan *dust collector*, yang berfungsi untuk membersihkan udara dari debu dan asap yang dihasilkan.

Tabel 5. Hasil Pemantauan Mutu Emisi Cerobong Genset

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Ukur	Metode
1	Partikular*	mg/m ³	-	17.09	SNI 71117.17:2009
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)*	mg/m ³	-	7.62	HALQILAB-IK72106
3	Nitrogen Oksida (NO _x)*	mg/m ³	3400	184.02	HALQILAB-IK72106
4	Karbon Monoksida (CO)	mg/m ³	170	104.94	HALQILAB-IK72106
5	Karbondioksida (CO ₂)	%	-	2.75	HALQILAB-IK72106
6	Opasitas	%	-	<20	SNI 19-7117.8-2005
7	Oksigen (O ₂)	%	-	16.45	HALQILAB-IK72106
8	Persen Isokinetik	%	90-110	101.19	SNI 7117.17:2009
9	Kecepatan Gas Buang*	%	-	18.21	SNI 7117.17:2009
10	Suhu udara	°C	-	32.80	HALQILAB-IK72106
11	Eff. Pembakaran cerobong	%	-	99.56	HALQILAB-IK72106

Sumber: PKS SPA, hasil Analisa Laboratorium PT. Halqilab Karya Indonesia 2023

Hasil pemantauan kualitas udara untuk genset pada Tabel 5 dilakukan yang oleh Laboratorium PT. Halqilab Karya Indonesia menunjukkan bahwa emisi gas buang cerobong genset berada di bawah baku mutu emisi dari sumber tidak bergerak. Untuk mengurangi emisi gas cerobong genset manajemen menerapkan instruksi terbaru bahwa genset hanya hidup ketika *start up* awal pabrik.

b. Analisis Faktor Dominan yang Mempengaruhi Penerapan Produksi Bersih

Untuk mengidentifikasi faktor dominan yang mempengaruhi produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT.SPA dilakukan dengan menjabarkan kelayakan aspek-aspek yang mempengaruhi penerapan produksi bersih antara lain:

Tabel 6. Faktor Dominan Penerapan Produksi Bersih di PKS PT. SPA

No	Kondisi	Komponen	Faktor Dominan	Penjelasan
1	Ekologi	Limbah	Pengelolaan limbah dan pemanfaatan limbah	
		a) Padat		Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit PT. SPA adalah tandan kosong, serat dan cangkang. Menurut perhitungan neraca material proporsi tandan kosong dalam limbah padat mencapai 23% dari setiap ton TBS dan saat ini dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk tanaman kelapa sawit. Selain itu, tandan kosong juga dapat dibakar dalam incinerator untuk menghasilkan abu tandan kosong yang kaya akan kandungan pupuk seperti K ₂ O, Mg, Ca, dan P ₂ O ₅ , sehingga dapat digunakan sebagai penunjang pupuk anorganik. Sementara cangkang dan serat kelapa sawit digunakan sebagai produk sampingan yang dapat menggantikan bahan bakar untuk boiler serta Sebagian di pasarkan ke konsumen.
		b) Cair		Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit PT.SPA merupakan sisa proses produksi minyak kelapa sawit berbentuk cairan dan dikenal dengan sebutan <i>Palm Oil Mills Effluent</i> (POME). Saat ini POME digunakan kembali (<i>recycle</i>) dalam proses pengolahan sebelum dibuang ke kolam limbah. POME dapat diubah menjadi sumber energi terbarukan dengan menggunakan limbah cair ini untuk menghasilkan gas metana, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik melalui proses <i>anaerobik digestion</i> menggunakan teknologi seperti <i>covered lagoon</i> atau <i>continuous stirred tank reactor (CSTR)</i> . Limbah cair juga dimanfaatkan kembali sebagai pupuk cair di areal Perkebunan kelapa sawit di Afdeling I PT. SPA melalui <i>land application</i> seluas sekitar 127,6 hektar. Praktik ini melibatkan 20 bak distribusi dan 7.310 longbed, dengan tujuan mengurangi biaya pemupukan untuk tanaman kelapa sawit. Limbah cair dari pabrik kelapa sawit PT. SPA, yang mengandung unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, dianggap sebagai sumber organik yang dapat di daur ulang untuk mengurangi biaya pemupukan.
		c) Gas		Limbah gas di pabrik kelapa sawit PT. SPA berasal dari gas buangan boiler, genset serta proses pembakaran tandan kosong di dalam incinerator. Sampai dengan saat belum ada pemanfaatan gas-gas yang dihasilkan oleh proses pengolahan pabrik kelapa sawit. Sejauh mitigasi yang dilakukan adalah melaksanakan pemantau secara periodik.
2	Sosial	Stakeholder	Kepentingan stakeholder	
		a) Masyarakat Lokal & Karyawan		Memastikan dampak positif pada lingkungan dan kesejahteraan masyarakat melalui mitigasi pengelolaan limbah agar tidak mengganggu lingkungan serta melakukan upaya untuk meningkatkan kehidupan masyarakat setempat melalui program kerjasama pembelian TBS dan pemberian tangkos kepada masyarakat plasma.

		b) Industri Kelapa Sawit		Meningkatkan reputasi perusahaan dan memperbaiki citra Perusahaan terkait dengan pengelolaan lingkungan industry dengan konsep berkelanjutan.
		c) Konsumen		Mendukung produk yang dihasilkan secara berkelanjutan melalui transparansi rantai pasokan, label berkelanjutan dan promosi produk ramah lingkungan.
		d) Pemerintah dan Regulator		Memastikan pengelolaan lingkungan dan Kesehatan Masyarakat secara berkelanjutan dengan penerapan standar lingkungan yang lebih ketat, penegakan peraturan bagi perusahaan yang menerapkan praktik produksi bersih.
			Kesadaran dan keselamatan karyawan	Hasil wawancara di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar karyawan berpendapat bahwa penerapan produksi bersih dapat mencapai hasil maksimal ketika seluruh jajaran karyawan, mulai dari manajemen puncak hingga karyawan pelaksana, terlibat aktif. Implementasi produksi bersih membutuhkan komitmen dan dukungan dari manajemen, tetapi juga memerlukan kesadaran dan partisipasi aktif dari karyawan agar tujuan produksi bersih dapat tercapai. Manajemen pabrik kelapa sawit PT. SPA telah menunjukkan komitmen mereka dalam Kebijakan Minyak Sawit Berkelanjutan Perusahaan, yang mencakup aspek pencegahan dan pengendalian pencemaran lingkungan, dan kebijakan ini telah disebarkan kepada semua <i>stakeholder</i> , baik di dalam maupun di luar perusahaan.
3	Ekonomi	Biaya produksi pengolahan	Efisien penggunaan bahan <i>by product</i>	Dengan memanfaatkan secara optimal bahan baku <i>by product</i> seperti tandan kosong, cangkang, serat dan limbah cair dapat menghasilkan pendapatan tambahan dari penjualan sisa hasil produksi.
			Pengelolaan limbah	Pengelolaan limbah dari mengurangi, mendaur ulang (<i>recycle</i>) atau memproses limbah memungkinkan akan mengurangi dampak lingkungan dan mendapat keuntungan ekonomis dari limbah yang dapat dijual serta meminimalkan risiko sanksi lingkungan.
			Manajemen Energi yang Efisien	Pabrik kelapa sawit PT. SPA telah menerapkan teknologi yang lebih efisien dalam penggunaan energi dengan memanfaatkan energi terbarukan dengan membangun <i>Co - Firing Plant Biogas</i> . Hasil dari <i>Co-firing</i> menggantikan sebagian bahan bakar seperti cangkang ke dalam Boiler sehingga meningkatkan penjualan cangkang dan tentunya mengurangi ketergantungan pada sumber energi cangkang.

			Peningkatan proses produksi	Meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi kehilangan (<i>losses</i>) melalui penerapan kontrol mutu dalam proses produksi minyak sawit dan inti sawit mulai dari tahap pengawasan bahan baku awal hingga tahap pemrosesan produk jadi. Rata-rata kualitas minyak kelapa sawit mengacu pada kadar FFA berkisar antara 3,31% hingga 3,40%, yang masih di bawah batas maksimum sebesar 3,5%. Kadar air berkisar antara 0,17% hingga 0,18%, masih di bawah batas maksimum sebesar 0,20%, dan kadar kotoran berkisar antara 0,016% hingga 0,018%, juga di bawah batas maksimum sebesar 0,02%. Sementara itu, rata-rata kualitas inti sawit menunjukkan kadar FFA berkisar sekitar 0,98%, yang jauh di bawah batas maksimum 2%. Kadar air berkisar sekitar 5,67%, masih di bawah batas maksimum 6,0%, dan kadar kotoran berkisar sekitar 6,25%, juga di bawah batas maksimum 7,0%. Dengan meningkatkan <i>ekstraksi</i> dan mengurangi kerugian dalam proses tersebut, pabrik dapat meningkatkan volume minyak kelapa sawit yang dihasilkan (<i>rendemen</i>). Hal ini akan meningkatkan nilai ekonomi dari produksi dan pada gilirannya dapat mengurangi biaya produksi secara keseluruhan. Peningkatan ekstraksi 0,01% dari rata-rata TBS olah 20.000 ton / bulan akan membawa peningkatan volume minyak sawit \pm 2000 kg yang akan memberikan nilai ekonomi bagi perusahaan sebesar Rp. 22.000.000/ bulan (asumsi harga CPO Rp. 11.000).
4	Teknis	Efisiensi Proses	Teknologi proses produksi	Pabrik kelapa sawit PT. SPA belum memiliki teknologi yang lebih efisien dalam mengekstraksi minyak kelapa sawit. Teknologi yang ada masih menggunakan teknologi yang lama. Saat ini langkah-langkah yang diambil mencakup optimalisasi penggunaan mesin yang ada, mengurangi kerugian (<i>losses</i>), dan mengelola limbah secara efektif. Selain itu, untuk menjaga agar produksi pabrik kelapa sawit PT. SPA tetap efisien, perusahaan juga melakukan pemeliharaan peralatan, yang meliputi perawatan berdasarkan prediksi (<i>predictive maintenance</i>) dan perawatan preventif (<i>preventive maintenance</i>), serta menggantikan peralatan yang telah mencapai umur pakainya. Berdasarkan pengamatan di lapangan, pabrik kelapa sawit PT. SPA memiliki peluang untuk meningkatkan efisiensi proses dengan menggantikan proses pengolahan sludge menggunakan decanter. Langkah ini bertujuan untuk mengurangi kerugian (<i>losses</i>) dan mengambil kembali (<i>recycle</i>) minyak yang masih terkandung dalam sludge, sehingga minyak tersebut dapat dikembalikan ke dalam proses produksi.
		Efisiensi penggunaan bahan/ sumber daya	Manajemen Air	Penggunaan air menjadi salah satu aspek yang sangat penting dan memerlukan perhatian khusus. Pengelolaan dan penggunaan air dalam proses produksi membutuhkan sejumlah besar air, dan dapat menghasilkan limbah cair yang memiliki potensi mencemari lingkungan. Upaya-upaya yang telah dilakukan pabrik kelapa sawit PT. SPA dalam pengelolaan dan penggunaan air diantaranya adalah (1) dengan sosialisasi penghematan terhadap penggunaan sumber daya air di lingkungan pabrik (2) mendaur ulang air limbah air buangan (<i>water cooler</i>) turbin ke stasiun press sebagai air pengencer untuk mengurangi jumlah pemakaian air bersih.

Secara umum pelaksanaan produksi bersih di pabrik kelapa sawit PT. SPA sudah baik, hanya saja masih perlu dilakukan pengendalian/ pengontrolan di masing-masing stasiun produksi untuk mengurangi limbah dan *losses* yang

diakibatkan oleh kegiatan proses produksi. Berikut Tabel 7 hasil *walk-through inspection* pada masing-masing stasiun produksi di pabrik kelapa sawit PT. SPA yang masih memerlukan strategi penerapan produksi bersih.

Tabel 7. *Walk-through Inspection* Penerapan Produksi Bersih di PT. SPA

No	Analisis Permasalahan	Alternatif Produksi Bersih	Manfaat
1	a) Kontaminasi tandan buah segar seperti batu, karung, plastik, dan besi terikut kedalam proses pengolahan. b) Ceceran brondolan pada area sortasi yang terlindas loader	Metode sortasi harus mengikuti SOP/IK sortasi, melakukan pemungutan kontaminan, membongkar brondolan di maksimalkan di bongkar di <i>Loading ramp</i> serta mengurangi pemakaian loader saat mendorong TBS (<i>good housekeeping</i>).	Ekologi Ekonomi
2	Ceceran minyak pada area rebusan akibat pembuangan kondensat tidak maksimal dan ceceran brondolan pada parit rebusan.	Melakukan proses perebusan sesuai SOP/IK rebusan, melakukan pembersihan secara priodik baik didalam rebusan ataupun diluar rebusan (<i>good housekeeping</i>)	Ekologi Ekonomi K3
3	Ceceran brondolan dan tangkos pada area <i>threasing</i> akibat umpan pada <i>threasing</i> terlalu penuh, kisi-kisi drum <i>threasing</i> sudah aus dan terdapat tangkos yang mengindikasikan TBS di bawah < 5 kg.	Melaksanakan proses pengolahan di stasin <i>threasing</i> sesuai SOP/IK, memperbaiki kisi-kisi drum <i>threasing</i> yang aus, tidak menerima TBS dibawah 5 kg (<i>good housekeeping</i>)	Ekologi Ekonomi Teknik
4	Ceceran minyak pada area digester akibat kebocoran pada instalasi/ dinding digester.	Melakukan operasioanal stasiun press dan digester sesuai SOP/IK, memperbaiki kebocoran pada dinding/ instalasi digester (<i>good housekeeping</i>)	Ekologi Ekonomi Teknik K3
5	Ceceran air di lantai stasiun klarifikasi akibat adanya kebocoran mekanikal seal pada pompa vacuum.	Melakukan <i>maintenance</i> penggantian mekanikal seal pada pompa vacuum.	Ekologi Ekonomi K3
6	Ceceran minyak dan inti sawit pada area stasiun pabrik biji yang diakibatkan oleh kebocoran instalasi dan kurangnya pengontrolan steam pada kernel silo.	Melakukan proses pengolahan sesuai SOP/IK di pabrik biji, melakukan perbaikan instalasi pada instalasi yang bocor serta melakukan monitoring mutu melalui pengontrolan steam yang masuk pada kernel silo (<i>good housekeeping</i>)	Ekologi Ekonomi K3
7	Ceceran air di lantai internal treatment pada stasiun boiler akibat adanya kebocoran gland packing pada pompa sentrifugal umpan air boiler.	Melakukan perbaikan penggantian gland packing pada pomap sentrifugal tersebut (<i>good housekeeping</i>)	Ekologi Ekonomi Teknik
8	Pemakaian bahan kimia soda ash dan tawas meningkat akibat kondisi air waduk mengalami kekeruhan.	Melaksanakan water treatment sesuai SOP/IK dimana pemberian bahan kimia harus mengacu kepada hasil Jar test (<i>good housekeeping</i>).	Ekologi Ekonomi

c. Analisis dan Perumusan Strategi Penerapan Produksi Bersih di PKS PT. SPA
1. Strategi Penerapan Produksi Bersih di PKS PT. SPA dengan metode AHP.

Analisis penentuan kriteria strategi penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) merupakan

pendekatan yang sistematis untuk membantu menentukan prioritas atau bobot kriteria yang berkontribusi terhadap keputusan strategis. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memahami dan mengevaluasi berbagai strategi yang mungkin diambil dalam konteks penerapan produksi bersih di pabrik kelapa sawit PT. SPA, serta menentukan strategi terbaik berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Dalam rangka perumusan strategi penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit, data-data yang terkumpul akan dikumpulkan sesuai kebutuhan dan kemudian direkapitulasi. Data-data tersebut kemudian akan dianalisis menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan bobot prioritas pemilihan model atau teknik penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA, dengan kriteria kesesuaian dengan kondisi sumber limbah pada masing-masing stasiun produksi, kondisi pengelolaan/pemanfaatan limbah, kondisi kepentingan stakeholder, kondisi kesadaran karyawan, pengurangan biaya produksi, peningkatan efisiensi proses dan efisiensi penggunaan bahan.

Menurut hirarki AHP terdapat beberapa level yang digunakan, meliputi: Level 1 Strategi Penerapan Produksi Bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA, Level 2

Kriteria, dan Level 3 Alternatif Penerapan Produk Bersih. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

2. Penilaian Prioritas Kriteria

Penentuan prioritas kriteria diperoleh melalui pengisian kuesioner perbandingan berpasangan yang dilakukan oleh responden. Setelah dilakukan penilaian pada masing-masing responden, kemudian dilakukan perhitungan rata-rata menggunakan rata-rata geometric pada matrik perbandingan berpasangan. Berikut hasil perbandingan berpasangan yang dilakukan pengolahan menggunakan *Software Expert Choice 11* tahun 2022.

Metode penentuan prioritas kriteria dengan menggunakan kuesioner perbandingan berpasangan yang diisi oleh responden adalah salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam analisis AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Dalam metode ini, responden memberikan perbandingan antara kriteria berdasarkan preferensi mereka, dan hasilnya digunakan untuk menentukan bobot relatif kriteria.

Setelah dilakukan penilaian oleh masing-masing responden, langkah berikutnya adalah menghitung rata-rata geometric dari matriks perbandingan berpasangan. Hasil perbandingan berpasangan ini kemudian digunakan untuk menentukan bobot relatif kriteria. *Software Expert Choice 11* yang Anda

sebutkan merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan ini secara lebih efisien.

Hasil perbandingan berpasangan dan perhitungan bobot kriteria ini adalah langkah awal yang penting dalam proses analisis AHP, dan akan membantu dalam menentukan prioritas kriteria yang kemudian dapat digunakan dalam pemilihan model atau teknik penerapan produksi bersih yang paling sesuai untuk Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA.

Tabel 8. Perhitungan Rata-rata Matrik Perbandingan Berpasangan

	Pengelolaan Limbah	Kepentingan Stakeholder	Kesadaran Keselamatan Karyawan	Biaya Produksi	Efisiensi Proses	Efisiensi Penggunaan Bahan
Pengelolaan Limbah		1,501	2,169	1,220	2,034	2,667
Kepentingan Stakeholder			2,977	2,253	1,025	1,583
Kesadaran Keselamatan Karyawan				1,933	2,600	3,322
Biaya Produksi					3,293	3,238
Efisiensi Proses						1,893
Efisiensi Penggunaan Bahan	Inco: 0,01					

Sumber: Hasil Analisis Expert Choice 2022



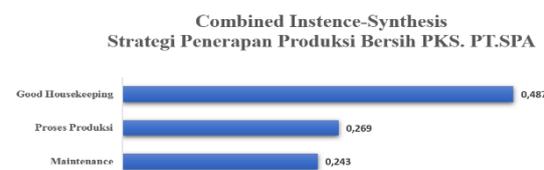
Gambar 3. Grafik Penilaian Prioritas Kriteria Seluruh Responden

Hasil perhitungan matriks perbandingan di atas menghasilkan penentuan prioritas bobot, dengan kesadaran dan keselamatan karyawan menduduki peringkat teratas sebagai faktor yang paling penting, memiliki bobot sebanyak 0,319. Prioritas kedua adalah biaya produksi, dengan bobot 0,231. Prioritas ketiga adalah pengelolaan limbah,

dengan bobot 0,174. Prioritas berikutnya secara berurutan adalah kepentingan stakeholder (0,106), efisiensi proses (0,101), dan yang terakhir, efisiensi penggunaan bahan (0,069). Uji konsistensi menunjukkan bahwa responden memberikan penilaian yang konsisten terhadap matriks perbandingan, dengan nilai rasio konsistensi (CR) kurang dari atau sama dengan 0,1, menandakan validitasnya. Ini menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam penilaian faktor-faktor tersebut.

3. Penilaian Prioritas Alternatif Strategi Penerapan Produksi Bersih PT. SPA

Berdasarkan evaluasi alternatif terhadap enam kriteria, diperoleh hasil prioritas keseluruhan untuk masing-masing strategi penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Grafik Penilaian Prioritas Strategi Seluruh Responden.

Hasil perhitungan matriks perbandingan di atas menghasilkan penentuan prioritas bobot, dengan kesadaran dan keselamatan karyawan menduduki peringkat teratas sebagai faktor

yang paling penting, memiliki bobot sebanyak 0,319. Prioritas kedua adalah biaya produksi, dengan bobot 0,231. Prioritas ketiga adalah pengelolaan limbah, dengan bobot 0,174. Prioritas berikutnya secara berurutan adalah kepentingan stakeholder (0,106), efisiensi proses (0,101), dan yang terakhir, efisiensi penggunaan bahan (0,069). Uji konsistensi dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi penilaian responden terhadap matriks perbandingan. Tingkat konsistensi mendekati sempurna diharapkan untuk tingkat akurasi yang tinggi. Matriks dianggap valid jika nilai rasio konsistensi (CR) $\leq 0,1$. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor-faktor ini valid dengan rasio konsistensi (CR) $\leq 0,1$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Alternatif Prioritas Strategi Penerapan Produksi Bersih PT. SPA

No	Alternatif Strategi	Prioritas Global
1	<i>Good Housekeeping</i>	0,487
2	Proses Produksi	0,269
3	<i>Maintenance</i>	0,243

Sumber: Hasil Analisis Expert Choice 2022

Strategi Produksi Bersih Yang Direkomendasikan

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 9, tingkat prioritas utama pada strategi penerapan produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA dari penilaian yang diperoleh berdasarkan kriteria pengelolaan limbah, kepentingan

stakeholder, kesadaran dan keselamatan karyawan, biaya produksi, efisiensi proses dan efisiensi penggunaan bahan diperoleh yaitu.

Pertama, program good housekeeping berupa pelaksanaan operasional pabrik PT. SPA sesuai dengan standar operasional prosedur atau instruksi kerja, pengurangan limbah (Reduce), penggunaan kembali limbah (Reuse), daur ulang limbah (Recycle), perolehan kembali limbah (Recovery) dan pengawasan pemakaian air pada proses pengolahan serta melaksanakan peningkatan pemahaman karyawan akan produksi bersih. Menurut (Zein et al., 2019), dengan meningkatkan good housekeeping pada pengurangan ceceran minyak pada masing-masing stasiun proses dapat meningkatkan rendemen dan mengurangi kerugian dari kebocoran. Pengontrolan atau pengawasan penggunaan air merupakan upaya pencegahan dalam penggunaan air dalam proses produksi sehingga dapat meminimalisasi limbah cair yang terbuang ke lingkungan (Bantacut & Maulana, 2014). Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA dapat menerapkan seluruh potensi strategi produksi bersih tersebut berdasarkan tingkat prioritas yang telah dinilai.

Kedua, proses produksi berupa serangkaian kegiatan yang dihasilkan untuk menghasilkan produk Crude Palm

Oli (CPO) dan Inti Sawit (kernel) dengan baku mutu yang diinginkan yang mengacu pada SOP/IK perusahaan. Proses produksi melibatkan berbagai jenis kegiatan dari penerimaan bahan baku TBS, pengolahan TBS menjadi CPO dan Kernel, memeriksa kualitas CPO dan Kernel dan melakukan pemasaran CPO dan Kernel. Dalam menjalankan proses produksi penting untuk memperhatikan kualitas, efisiensi dan keselamatan kerja.

Ketiga, *Maintenace* berupa kegiatan untuk menjaga dan memperbaiki kondisi mesin, peralatan, dan infrastruktur di PKS PT.SPA guna memastikan kelancaran operasional produksi. Kegiatan *maintenance* dapat berupa *preventive maintenance* (pemeriksaan secara berkala), *corrective maintenance* (perbaikan ketika terjadi kerusakan) dan *predictive maintenance* (perawatan berdasarkan informasi yang diperoleh).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis, kondisi penerapan strategi produksi bersih di Pabrik Kelapa Sawit PT. SPA secara umum sudah baik, namun masih memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi risiko kecelakaan kerja. Beberapa permasalahan yang muncul melibatkan kontaminasi pada buah, ceceran

berondolan, minyak sawit, inti sawit, air, dan kekurangan prinsip produksi bersih seperti tidak adanya penggunaan kembali limbah cair rebusan. Faktor dominan dalam penerapan produksi bersih mencakup aspek ekologi, sosial, ekonomi, dan teknis. Ini melibatkan manajemen limbah untuk meminimalkan dampak lingkungan, keterlibatan stakeholder dalam pengambilan keputusan, tekanan biaya produksi, dan optimalisasi efisiensi proses dan sumber daya. Strategi produksi bersih diperoleh dari perhitungan prioritas alternatif, menekankan pada program good housekeeping, pengawasan, perbaikan, tata cara operasi sesuai standar, daur ulang limbah, dan peningkatan pemahaman karyawan tentang pentingnya produksi bersih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, baik dukungan moril maupun materil.

DAFTAR PUSTAKA

Abnisa, F., Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., Sahu, J. N., & Noor, I. M. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 1073–1082.

- Alamin, J. (2023). *Pengelolaan Limbah Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Daya Agrotamas Ditinjau Menurut UU No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. UIN Ar-Raniry Fakultas Syariah dan Hukum.
- ANDAN, M. (2022). *Analisis Pencemaran Limbah Pabrik Sawit Terhadap Air Sungai Lae Cinandang Kecamatan Simpang Kanan Kabupaten Aceh Singkil*. UPT PERPUSTAKAAN.
- Azzahro, H. U., Indrasti, N. S., & Ismayana, A. (2022). penerapan produksi bersih pada industri kelapa sawit di PT YZ. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 1–11.
- Bantacut, T., & Maulana, S. P. (2014). Application of Cleaner Production in Palm Oil Mill: A Case Study at PT Perkebunan Nusantara IV Adolina Business Unit Perbaungan North Sumatera Indonesia. *Chemistry and Materials Research*, 6(12).
- Corley, R. H. V. (2009). How much palm oil do we need? *Environmental Science & Policy*, 12(2), 134–139.
- Doan Otanti Agustina, D. O. A., Abbas, H., & Sucahyanto, S. (2021). Strategi Penanggulangan Banjir Berdasarkan Presepsi Masyarakat Di Kawasan Pt Jiep (Jakarta Industrial Estate Pulogadung) Dki Jakarta. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 10(1), 44–50. <https://doi.org/10.21009/jgg.101.04>
- Mahajoeno, E., Lay, B. W., & Sutjahjo, H. S. (n.d.). Siswanto. 2008. Potensi limbah cair pabrik minyak kelapa sawit untuk produksi biogas. *Biodiversitas*, 9(1), 48–52.
- Maykewati, S. R. (2017). Strategi Pengelolaan Hutan Kota Waduk Sunter Utara Dalam Rangka Mempertahankan Fungsi Waduk Sebagai Resapan Air. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 6(1), 51–73. <https://doi.org/10.21009/jgg.061.04>
- Nakita, C., & Najicha, F. U. (2022). Pengaruh Deforestasi dan Upaya Menjaga Kelestarian Hutan di Indonesia. *Ius Civile: Refleksi Penegakan Hukum Dan Keadilan*, 6(1), 92–103.
- Nurhayati, N., Abdurahman, A., Jailani, M., Riza, F., & Deni, I. P. (2023). *Naskah Akademik Dan Rancangan Peraturan Daerah Kabupaten Langkat Tentang Pengelolaan Kelapa Sawit*.
- Pakpahan, R. H., & Firdaus, A. (2020). Pertanggungjawaban pidana korporasi perkebunan atas pencemaran limbah kelapa sawit. *Jurnal Legislasi Indonesia*, 17(2),

- 223–233.
- Putra, T. M. (n.d.). *Perkebunan Kelapa Sawit Di Kabupaten Sambas Dalam Perspektif Tiga Pilar Sustainable Development*.
- Sarwono, E. (2008). Pemanfaatan janjang kosong sebagai substitusi pupuk tanaman kelapa sawit. *Aplika: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 8(1), 56405.
- Supraniningsih, J. (2012). Pengembangan kelapa sawit sebagai biofuel dan produksi minyak sawit serta hambatannya. *Jurnal Ilmiah Widya*, 218718.
- Sylvia, N., Yunardi, Y., Husni, H., & Abrar, M. (2020). 22. *Hasil Peer Review Proceeding ICCHEAS: CO2 emission management in palm oil industries in Indonesia: a review*.
- Wu, T. Y., Mohammad, A. W., Jahim, J. M., & Anuar, N. (2010). Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal of Environmental Management*, 91(7), 1467–1490.
- Yanti, R. N., & Hutasuhut, I. L. (2020). Potensi Limbah Padat Perkebunan Kelapa Sawit di Provinsi Riau. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 15(2), 1–11.
- Zein, M., Lestari, E., & 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, K., & Ramezani pour, M. (2018). Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination*, 428, 116–145.