

Integrasi sustainability dan MCDM untuk kelayakan teknologi sterilisasi pada pendirian pabrik CPO terintegrasi *palm kernel oil*

(*Integration of sustainability and MCDM for feasibility of sterilization technology at the establishment of integrated crude palm oil palm kernel oil plant*)

Sawarni Hasibuan^{1#)}, Hermawan Thaheer²

¹Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

²Departemen Ilmu Komputer FMIPA, Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

#)Corresponding author: sawarni02@mercubuana.ac.id

Received 15 November 2020, Revised 22 November 2020, Accepted 29 November 2020

Abstrak. Dalam proses pengolahan kelapa sawit, salah satu tahapan yang paling penting adalah perebusan tandan buah segar atau sterilisasi, karena sangat menentukan rendemen dan kualitas CPO yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pemilihan teknologi sterilizer dengan mempertimbangkan faktor *sustainability*. Studi kasus dilakukan di PTPN V yang sedang merencanakan perluasan kapasitas produksi. Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari penyebaran kuesioner, wawancara, dan pengamatan lapangan. Responden penelitian ini adalah *stakeholder* pabrik kelapa sawit dan PTPN V. Penelitian ini memadukan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk mendeskripsikan teknologi sterilisasi pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menjadi CPO. Kelayakan finansial dievaluasi berdasarkan rekomendasi teknologi sterilisasi terbaik. Hasil analisis merekomendasikan teknologi *horizontal sterilized-indexer* sebagai prioritas, disusul teknologi sterilisasi vertical dan teknologi sterilisasi kontinu. Dengan memperhatikan kriteria *sustainability*, disain PKS diintegrasikan dengan PKO. Integrasi tersebut berimplikasi pada efisiensi yakni energi, transportasi kernel, fasilitas utiliti lainnya, bahkan sejumlah satuan kerja serta personalianya. Investasi pembangunan PKS kapasitas 45 ton/jam menggunakan teknologi sterilisasi horizontal-indexer memerlukan dana sebesar Rp. 170,8 milyar dinyatakan layak dengan IRR sebesar 26,64%, NPV bernilai positif, B/C ratio sebesar 2,23, dan PBP selama 6 tahun 5 bulan. Hasil analisis sensitifitas terhadap asumsi kenaikan biaya produksi sebesar 6 persen belum merubah rekomendasi, demikian juga jika terjadi penurunan kapasitas olah pabrik sebesar 6 persen.

Kata kunci: teknologi sterilisasi, minyak kelapa sawit, minyak inti sawit, multi criteria decision making.

Abstract. In the palm oil processing, one of the most important stages is boiling the fresh fruit bunches or sterilization, because it greatly determines the yield and quality of the CPO produced. The purpose of this study was to analyze the selection of sterilizer technology by considering the sustainability factor. A case study was conducted at PTPN V which is planning to expand its production capacity. The data used in this study consisted of primary data and secondary data. Primary data obtained from distributing questionnaires, interviews and field observations. Respondents of this study were stakeholders of the palm oil mill and PTPN V. This research combines qualitative and quantitative approaches. Qualitative analysis was conducted to describe the sterilization technology for processing fresh oil palm fruit bunches into CPO. Financial viability is evaluated based on the best sterilization technology recommendations. The results of the analysis recommend horizontal sterilized-indexer technology as a priority, followed by vertical sterilization technology and continuous sterilization technology. By paying attention to the sustainability criteria, the PKS design is integrated with PKO. This integration has implications for energy efficiency, kernel transportation, other utility facilities, and even a number of work units and personnel. The investment for the construction of PKS with a capacity of 45 tons/hour using horizontal-indexer sterilization technology requires a fund of IDR 170.8 billion were declared feasible with an IRR of 26.64%, a positive NPV, a B/C ratio of 2.23, and a PBP of 6 years and 5 months. The results of the sensitivity analysis to the assumption of an increase in production costs of 6 percent have not changed the recommendation, as well as a decrease in factory processing capacity by 6 percent.

Keyword: sterilization technology, crude palm oil, palm kernel oil, multi criteria decision making.

1. Pendahuluan

Pada tahun 2019/2020 produksi minyak kelapa sawit di tingkat global tercatat sebesar 72,27 juta metrik ton. Indonesia merupakan eksportir terbesar kelapa sawit dunia diikuti Malaysia dan Thailand. Meski volume ekspor minyak sawit Indonesia tahun 2020 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2019, namun dari sisi nilai ekspor mengalami peningkatan. Perolehan devisa dari minyak kelapa sawit Indonesia di tahun 2020 diperkirakan mencapai US\$ 20-21 milyar meningkat dibandingkan tahun 2019 sebesar USD 20 milyar (DMSI, 2019). Peningkatan perolehan devisa dari komoditas minyak kelapa sawit tersebut dipicu oleh membaiknya harga minyak sawit kasar (crude palm oil/CPO). Rata-rata harga CPO pada tahun 2019 sebesar US\$ 510 per ton, di tahun 2020 rata-rata harga CPO diperkirakan antara US\$ 540 – US\$ 600 per ton (DMSI, 2020).

Harga CPO yang lebih tinggi tersebut tentunya akan menguntungkan Indonesia sebagai produsen dan konsumen minyak sawit terbesar dunia di tahun-tahun mendatang. Di sisi lain, tingginya tuntutan dunia internasional terhadap praktek *sustainability* pada pengelolaan rantai pasok kelapa sawit mendorong industri pengolahan kelapa sawit Indonesia mengadopsi standar global dalam rantai pasoknya. Indonesia dan Malaysia memiliki area lahan perkebunan kelapa sawit terbesar bersertifikat. Pada tahun 2017, luas lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia tersertifikasi *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) mencapai 1,7 juta hektar, naik dari 1,54 juta hektar dibandingkan dengan tahun 2016.

Program hilirisasi industri pengolahan kelapa sawit menjadi produk *oleofood*, *oleochemical*, dan *bioenergy* dimaksudkan untuk meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk kelapa sawit (Afoakwa & Dawson, 2013; Hidayat & Hasibuan, 2019). Selama ini produk utama pabrik kelapa sawit (PKS) adalah CPO yang diolah menjadi *oleofood*, yaitu minyak goreng dan margarin. Hilirisasi kelapa sawit akan menghasilkan *value added* yang lebih tinggi jika diolah menjadi produk *oleochemical*, diantaranya sabun dan kosmetik. Program hilirisasi industri kelapa sawit melalui *mandatory* bahan bakar nabati bertahap, selain dimaksudkan untuk meningkatkan *added value* kelapa sawit juga untuk memenuhi komitmen Pemerintah dalam mengurangi emisi GRK sebesar 29 persen BAU pada tahun 2030.

Saat ini teknologi pabrik kelapa sawit semakin berkembang dan inovatif, semua bertujuan untuk menghasilkan output minyak sawit yang berkualitas tinggi dengan efisien, produktif, dan ramah lingkungan. Salah satu teknologi terkini pada PKS yang sangat dianjurkan ialah penggunaan dan pemanfaatan teknologi efisien dan ramah lingkungan, terutama pada pengelolaan limbah cair menjadi pembangkit listrik tenaga biogas (Chavalparit, 2006; Lee et al., 2017; Rahayu, 2015; Prasetya et al., 2013; MCA Indonesia, 2014). Pembangunan PKS baru perlu juga dikembangkan secara terintegrasi dengan pabrik minyak inti sawit (palm kernel oil/PKO).

Integrasi *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) untuk mendukung *sustainability* telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya. Chandrakumar et al. (2018) mengaplikasikan model MCDM untuk mengevaluasi design produk yang *sustainable* menggunakan prinsip-prinsip *design for sustainability* dan *Fuzzy AHP*. Penerapan MCDM cukup banyak diteliti untuk mencapai pembangunan energi yang *sustainable* (Kumar et al., 2017; Malkawi et al., 2017; Haddah 2017; Wimmeler, 2015). Pendekatan MCDM juga telah diteliti untuk mendukung *sustainability* pada sektor konstruksi (Erdogan et al., 2019). Pada penelitian ini pendekatan MCDM diadopsi untuk menseleksi teknologi sterilisasi yang mendukung pembangunan pabrik kelapa sawit CPO terintegrasi PKO yang *sustainable*. Kelayakan teknologi sterilisasi selanjutnya dievaluasi kelayakannya secara finansial. Studi kasus dilakukan pada PT Perkebunan Nusantara V (PTPN V) yang mengoperasikan perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau.

Areal perkebunan kelapa sawit yang dimiliki oleh PTPN V seluas 161.617 ha, terdiri dari 87.091 ha kebun inti dan 74.526 ha kebun plasma yang tersebar di 11 Distrik (BPS, 2018; Kementerian Pertanian, 2018). Distrik Rokan dan Tandun saat ini memiliki 11 unit kebun inti dan 5 unit pabrik pengolahan kelapa sawit (PKS) dengan kapasitas terpasang 255 ton TBS/jam. Luas area tanaman kelapa sawit di kedua distrik tersebut adalah 49.857 Ha dengan luas 23.543 Ha di Distrik Rokan dan 26.314 Ha di Distrik Tandun. Kapasitas maksimal PKS-PKS di Distrik Tandun dan Rokan adalah 1.209.946 ton dengan rata-rata utilisasi sebesar 83,2 persen (PTPN V, 2017). Dengan adanya konversi lahan karet menjadi lahan sawit, diproyeksikan produksi TBS dari kebun inti pada tahun 2022 berkisar antara 160-330 ribu ton. Dengan demikian 5 PKS yang ada di Distrik Tandun dan Rokan saat ini tidak memadai lagi untuk mengolah

produksi TBS pada tahun 2021 sampai dengan tahun 2022. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kelayakan teknologi dan finansial pembangunan PKS terintegrasi PKO.

2. Kajian Pustaka

Teknologi Sterilisasi Pada Pabrik Kelapa Sawit

Sterilizer merupakan suatu bejana uap yang memiliki tekanan, memiliki fungsi untuk merebus tandan buah segar (TBS) dengan menggunakan mesin pemanas (Junaidah et al., 2015). Media itu merupakan uap basah berasal dari sisa pembuangan turbin uap yang memiliki tekanan kurang lebih 3 kg/cm² serta temperatur kurang lebih 145 °C. Alat *sterilizer* kelapa sawit disebut juga dengan bejana rebusan/ketel rebusan serta biasanya alat tersebut sebagai media perebusan buah kelapa sawit. Terdapat tiga macam tipe *sterilizer* biasa digunakan di PKS, yaitu tipe horizontal, vertikal, dan kontinu.

Tipe Horizontal Sterilizer. *Sterilizer type horizontal* memiliki bentuk silinder dipasang mendatar, ditumpu berdasarkan panjangnya. *Sterilizer horizontal* dari jumlah pintu yang dipakai terdiri dari (1) *Horizontal Sterilizer Single Door* dan (2) *Horizontal Sterilizer Double Door*. *Sterilizer* tersebut diisi dengan menggunakan tandan buah yang dimasukkan ke dalam lori. Lori tersebut ada yang memiliki kapasitas 1,5 ton serta 2,5 ton, paling besar bisa memiliki kapasitas 15 ton TBS/lori. *Sterilizer horizontal* bisa dimuati dengan 8-10 lori untuk satu kali perebusan dengan memiliki muatan per lori 2,5 ton TBS, disain terbaru bisa dimuati 3-4 lori untuk satu kali perebusan dengan memiliki muatan per lori 10 -15 ton TBS.

Tipe Vertical Sterilizer. *Vertical sterilizer* pabrik kelapa sawit memiliki bentuk silinder dengan muatan 6 - 20 ton TBS. TBS dimasukkan ke dalam *sterilizer* melalui pintu bagian atas serta dikeluarkan melalui pintu keluar sebelah sisi bagian depan bawah. Di bagian *sterilizer* dialasi menggunakan plat yang memiliki lubang dipasang menurun pada arah pintu dengan tujuan untuk memudahkan pada saat mengeluarkan TBS yang sudah direbus. Perbedaan antara *horizontal sterilizer* dan *vertical sterilizer* pada pabrik kelapa sawit (Subiyanto, 2013) diantaranya adalah:

- *Vertical sterilizer* pabrik kelapa sawit bentuknya lebih sederhana dan lebih rendah biaya investasinya jika dibandingkan bersama *sterilizer horizontal*.
- Kapasitas *sterilizer vertical* kecil maksimum sekitar 20 ton/unit jika dibandingkan dengan *sterilizer horizontal* kapasitasnya bisa mencai 45 ton -60 ton TBS/unit, makanya *vertical sterilizer* banyak dipakai pada PKS yang memiliki kapasitas kecil sekitar 5 ton – 20 ton per jam.
- Pada *sterilizer horizontal* kerugian minyak pada janjangan yang kosong serta pada air embun perebusan lebih tinggi dibanding dengan *vertical sterilizer*.
- Diperlukan waktu lama untuk dapat membongkar isi *sterilizer vertical* karena dilakukan dengan cara manual apabila dibandingkan dengan *sterilizer horizontal* dilakukan secara mekanik.

Tipe Continuous Sterilizer. *Continuous sterilizer* adalah sistem perebusan yang berlangsung secara terus-menerus dengan memakai *conveyor*. Sistem perebusan terjadi di sini, dimana tandan buah sawit terus diolah. Ada beberapa prinsip yang diterapkan saat menggunakan *continuous sterilizer* (Sivasothy et al., 2005) yaitu:

- Memakai *live steam injection* dengan tekanan 147 psi atau setara 1 bar, biasa disebut *low pressure sterilizing*
- Tandan buah sawit sendiri direbus melalui *conveyor* dua tingkat yang ada di dalam kompartemen sterilizer
- Proses perebusannya sendiri berbasis *continous single pressure*
- Waktu yang dibutuhkan untuk merebus adalah 60-70 menit

Pada sistem contionus sterilizer ada 3 tahap yang dilalui secara berurutan (Sivasothy et al., 2016), yaitu:

1. *Pre-sterilization*. Tandan buah sawit dikondisikan merobek janjang TBS menjadi dua dengan alat FFB *Crusher*. Tujuannya adalah memudahkan penetrasi *steam*, mengingat tekanan perebusan yang dipakai adalah pada tekanan atmosfer.
2. *Sterilization*. Tekanan yang dipakai untuk merebus tandan buah sawit adalah *low pressure sterilizing* dengan melewati tandan buah sawit yang sudah dirobek ke kompartemen dengan bantuan *conveyor* yang lalu disemprotkan *steam* secara terus-menerus di tekanan atmosfer. Pembuangan kondensat juga akan dilakukan

secara terus-menerus melalui talang *drain* di sepanjang lantai *sterilizer*, dan diharapkan membuat buah tidak tergenang kondensat

3. *Post sterilization*. Selanjutnya, pemanasan brondolan yang sudah dipipil dari tandannya. Tujuan dari pemanasan ini adalah memanaskan buah lebih lanjut, sehingga proses pengurangan kadar air dalam buah, serta pelepasan ikatan *fiber* akan membuat butiran minyak yang ada di dalam buah kualitasnya lebih baik.

Rangkuman deskripsi keunggulan ketiga teknologi sterilisasi yang umum digunakan pada PKS tersebut dibandingkan sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan beberapa teknologi sterilisasi PKS

No	Item Evaluasi	Sterilisasi Continuous	Sterilisasi Horizontal+ Indexer	Sterilisasi Vertical/ Oblique	Keterangan
1	Cost of Investment	1,125	1.019	1 (investment index)	Prelimeneries, Mechanical, Earth work and civil, Building, Electrical, Workshop equipment, Anciliary Building, Piping work, Fire fighting equipment, Material for commisioning, Lab Equipment.
	Investasi rumah	RUMAH : lebih sedikit OVS	RUMAH: sedikit/8	RUMAH: sedikit/6	Jumlah mesin atau bangunan.
	Luas areal	8 Ha	10 Ha	10 Ha	
	Sistem Sterilization time	Continuous	Batch	Batch	
	Waktu tinggal panas dalam buah	70-90 menit ^b		100-110 menit ^b	
		102.7 min ^d		105.2 min ^d	
2	Man power process	4	8 (1 line)	6	1 Shift & 1 Line dari L. Ramp ke Tresher
3	Cost Operasional	1.24	1.41 (60 Tph)	1 (cost index)	Utilitas 80%, Cost index = 129.74
4	Operation	simple/automatic	simple/automatic	simple/automatic	
5	Maintenance	Maintenance Chain + hidroulic	Maintenance lorry + hidraulic	Maintenance hidraulic	Sistem TPM
6	Process Control				
	Dobi	2,94	2,72	2,65	Kualitas Buah Average TBS inti
	Oil Sebelum Bunch Press	2,04	2,60	5,11	% OWB on sample
	Oil Sesudah Bunch Press	0,65	0,71	1,05	% OWB on sample
	Oil in Liquor	3,92	3,70	5,34	% OWB on sample
	Volume Liquor	8,63	8,33	6,18	% on TBS Olah
	Oil Condensate	10,81	1,40	13,10	% OWB on sample
		<4% ^b		<10% ^b	% OWB on sample
	Volume Condensate	13,15	19.15	16,23	% on TBS Olah
	Buah Tak Terpipil	<3% ^b		<1% ^b	
	Kehilangan minyak di TBK	<2% ^b		<6% ^b	
7	Steam consumption (Kg/Ton TBS)	600/350	520/300	500/280	Steam for Processing/Steam for Sterilizer
	Steam Condition (Real consumption)	Atmospheric Steam (90 kgs Steam/ton TBS)		Pressure (166 kgs Steam/ton TBS)	Ijin khusus bejana bertekanan ke Kemenaker

No	Item Evaluasi	Sterilisasi Continuous	Sterilisasi Horizontal+ Indexer	Sterilisasi Vertical/ Oblique	Keterangan
8	Power consumption	18 KW/ton TBS	20 KW/ton TBS	18 KW/ton TBS	Hanya St. sterilizer
9	Kemampuan sebagai storage	Loading ramp saja	Loading ramp saja	Loading ramp saja	Dihitung buffer untuk terima TBS
10	Safety Health and Environment				
	Emisi Safety	sedang safety	sedang relatif safe	sedang relatif safe	Unsafe karena banyaknya handling
	Operator Maintenance	1. HPU Hydraulic		1. Feeding & Discharge Area 2. HPU Hydraulic	
	Volume Limbah	± 63%	± 50%	± 48%	% on TBS Olah
	Noise (Kebisingan)	Tidak Ada	Standard	standard	
	Limbah Cair	41,52% ^c		50,52% ^c	Dari TBS
	Limbah Padat	34.23% ^c		29.41% ^c	Dari TBS
	Output CPO (tanpa recovery)	18,65%		15.15%	Dari TBS

- a. Ichsana (2017)
b. Nasution et al (2018)
c. Kramanandita et al (2014)
d. Purwanto (2012)

3. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan data melalui survey dan wawancara. Pengumpulan data dilakukan dengan memadukan studi literatur, wawancara, dan data sekunder. Penyebaran kuesioner dilakukan kepada pakar yang kompeten dalam hal pengambilan keputusan teknologi sterilisasi PKS. Wawancara dengan para pakar yang mewakili *stakeholder* pengembangan teknologi sterilisasi dan pengolahan TBS kelapa sawit menjadi CPO. Data sekunder dikumpulkan dari riset-riset terdahulu dalam sterilisasi TBS kelapa sawit dan kelayakan finansial (Hasibuan & Thaheer, 2018). Data yang dikumpulkan antara lain potensi ketersediaan teknologi, perkembangan riset di bidang sterilisasi, kriteria dan sub-kriteria pengambilan keputusan teknologi sterilisasi, isu-isu *sustainability* pada industri kelapa sawit dan catatan-catatan atau dokumen perusahaan.

Kriteria yang dipertimbangkan dalam proses pengambilan keputusan seleksi teknologi sterilisasi pengembangan PKS di PTPN V Riau ini mencoba mengintegrasikan perkembangan dinamika eksternal terhadap pengembangan industri berbasis kelapa sawit, terutama terkait isu *sustainability*. Analisis data dalam penelitian ini meliputi analisis MCDM dengan Metode Perbandingan Eksponensial (MPE) seleksi teknologi sterilisasi pengolahan TBS kelapa sawit menjadi CPO PKO. MPE dapat mengurangi bias yang mungkin terjadi dalam analisis, karena nilai skor yang dihasilkan menggambarkan urutan prioritas yang menjadi besar sehingga urutan prioritas alternatif keputusan menjadi lebih nyata (Marimin, 2007). Analisis kelayakan finansial menggunakan asumsi kapasitas produksi 45 ton TBS/jam dan analisis sensitifitas.

Langkah-langkah dalam penelitian ini sebagai berikut (1) mengidentifikasi kriteria dan sub-kriteria proses seleksi teknologi mengintegrasikan *sustainability* pada MCDM menggunakan metode MPE, (2) mengidentifikasi asumsi-asumsi, dan (3) menghitung kelayakan finansial serta sensitifitas teknologi sterilisasi pengolahan TBS kelapa sawit menjadi CPO terintegrasi PKO yang direkomendasikan. Kelayakan finansial teknologi sterilisasi TBS kelapa sawit dievaluasi dengan menggunakan empat parameter investasi, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR), *Net B/C*, dan *payback period* (PP).

4. Hasil dan Pembahasan

Sustainability-MCDM Pemilihan Teknologi Sterilisasi

Sampai pertengahan dekade 2000-2010, perebusan TBS semua PKS di Indonesia masih menggunakan *sterilizer* model horizontal. Setelah itu mulai dikenakan *sterilizer* model vertikal. Kedua model ini bekerja dengan sistem *batch*. Terakhir muncul *sterilizer* yang bekerja secara kontinu yang diintroduksi Malaysia. Keputusan pemilihan teknologi *sterilizer* perlu mempertimbangkan kriteria teknis-teknologi dan bisnis. Integrasi kriteria *sustainability* pada pengambilan keputusan memperhatikan efisiensi penggunaan energi serta minimasi beban lingkungan.

Pemilihan teknologi *sterilizer* yang diusulkan dilakukan dengan memperhitungkan sejumlah tolok ukur yang merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu pada Tabel 1. Faktor yang diusulkan disajikan dalam bentuk indeks, terutama tolok ukur yang membebani teknologi yang dipilih. Pengertian membebani dalam hal ini adalah, tolok ukur yang menjadi unsur pemberat dalam penilaian, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2. Setiap tolok ukur penilaian tersebut diberikan tingkat kepentingan oleh kesepakatan pakar yang terlibat di dalam pemilihan teknologi menggunakan metode MPE, sehingga diperoleh hasil sebagaimana Tabel 3. Pada Tabel 3 tersebut juga telah dilakukan operasi eksponensial yakni mengangkat setiap nilai indeks tolok ukur dengan tingkat kepentingannya.

Tabel 2 Faktor pembeban pada pemilihan teknologi *sterilizer* PKS

No	Tolok Ukur	Indeks Nilai			Penjelasan
		Continuous	HorzIndex	Vertical	
1	Investment Costs	1.125	1.019	1	Membebani pembiayaan
2	Operational Costs	1.24	1.41	1	Beban biaya operasi
3	Sterilization time	0.4096	0.8145	1.2155	Menurunkan Produktifitas
4	Oil in Liquor	0.0392	0.0470	0.0536	Menurunkan yield
5	Oil in Emphy Bunch	0.02	0.04	0.06	Menurunkan yield
6	Oil in Condensates	0.1081	0.114	0.131	Menurunkan yield
7	Man Power	0.5	1	0.75	Beban Upah
8	Steam Consumption	1.1429	1.1556	1.1905	Beban biaya steam
9	Electricity in Strelizer	1.2857	1.4286	1.2857	Beban biaya listrik
10	Wastes (limbah)	0.63	0.5	0.48	Beban lingkungan
11	Working Culture/Habit	1.6	1.1	1.4	Beban produktifitas
12	Additional Investment	1	1	1.2	Beban biaya

Catatan: indeks sebagian disusun dari data Tabel 1 setelah dinormalisasikan nilainya secara proporsional.

Tabel 3 Hasil operasi eksponensial tolok ukur terhadap tingkat kepentingannya pemilihan teknologi *sterilizer* PKS

No	Tolok Ukur	Tingkat Kepentingan*)	Eksponensial Indeks		
			Continuous	Horz-Index	Vertical
1	Investment Costs	8	2.5658	1.1625	1.0000
2	Operational Costs	6	3.6352	7.8580	1.0000
3	Sterilization time	4	0.0281	0.4401	2.1829
4	Oil in Liquor	3	0.0001	0.0001	0.0002
5	Oil in Emphy Bunch	3	0.0000	0.0001	0.0002
6	Oil in Condensates	3	0.0013	0.0015	0.0022
7	Man Power	6	0.0156	1.0000	0.1780
8	Steam Consumption	2	1.3061	1.3353	1.4172
9	Electricity in Strelizer	3	2.1254	2.9155	2.1254
10	Wastes	3	0.2500	0.1250	0.1106
11	Working Culture/Habit	5	10.4858	1.6105	5.3782
12	Additional Investment	8	1.0000	1.0000	4.2998

*) Tingkat kepentingan menggunakan skala 1-9 (tidak penting hingga paling penting)

Tahap berikutnya adalah aglomerasi tolok ukur ke dalam faktor utama yang dijadikan pertimbangan dalam pemilihan teknologi sterilisasi di PKS. Setidaknya ada enam faktor yang dipertimbangkan yakni: 1) Biaya Investasi; 2) Biaya operasi; 3) Faktor produksi; 4) Faktor tenaga kerja; 5) Faktor energi; dan 6) Lingkungan. Hasil aglomerasi tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil agglomerasi tolok ukur menjadi faktor utama pemilihan teknologi sterilizer PKS

No	Faktor	Eksponensial Indeks		
		Continuous	Horz-Index	Vertical
1	Investment Costs	3.5658	2.1625	5.2998
2	Operational Costs	3.6352	7.8580	1.0000
3	Production	0.0295	0.4418	2.1855
4	Man Power	10.5014	2.6105	5.5562
5	Energy	3.4315	4.2508	3.5426
6	Environment	0.2500	0.1250	0.1106

Perolehan hasil metode perbandingan eksponensial (MPE) dilakukan menggunakan rumus matematika berikut:

$$NPE_a = \sum_{i=1}^n F_{ai}^K \tag{1}$$

Dimana:

NPE = Nilai Perbandingan Eksponensial

a = Alternatif pilihan teknologi

n = Jumlah tolok ukur keseluruhan

i = tolok ukur ke i

F = tolok ukur

K = nilai kepentingan.

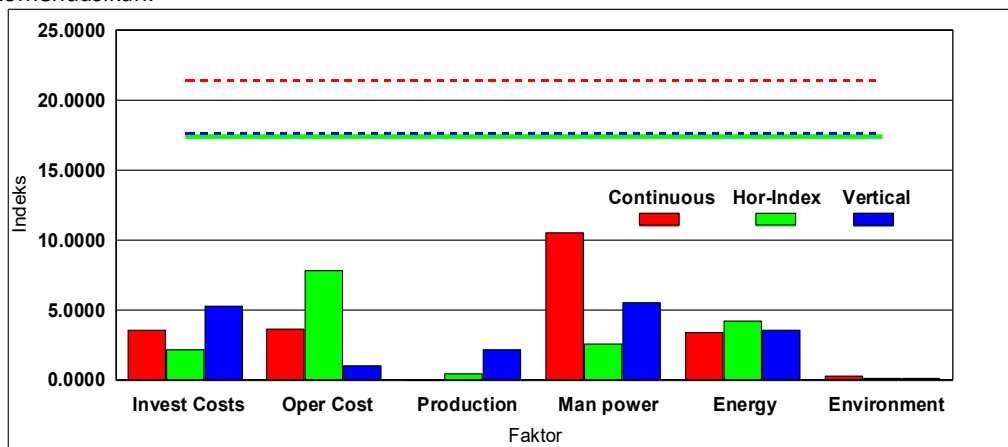
Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

NPE_{continuous} = 21,4134

NPE_{horizontal-indexer} = 17,4486

NPE_{vertical} = 17,6947

Dengan demikian tampak bahwa teknologi yang memberikan **beban terkecil** bagi perusahaan dalam pendirian PKS baru terintegrasi PKO adalah menggunakan teknologi **Sterilizer Horizontal dengan Indexer**. Hasil pemetaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan demikian analisis finansial yang dilakukan didasarkan pada teknologi sterilisasi yang direkomendasikan.



Gambar 1 Peta indeks beban dari 3 jenis pilihan sterilizer PKS di PTPN V Distrik Tandun-Rokan. Analisis Finansial Teknologi Sterilisasi Prioritas

Analisis aspek finansial dimaksudkan untuk menganalisis kelayakan pendirian PKS baru terintegrasi PKO di PTPN V Riau. Evaluasi kelayakan finansial menggunakan empat parameter, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit Cost Ratio* (Net B/C), dan *Payback Period* (PP). Dalam melakukan analisis kelayakan finansial digunakan asumsi-asumsi dasar sebagai berikut:

- 1) Umur ekonomis pabrik 15 tahun
- 2) Kapasitas terpasang pabrik adalah 45 ton TBS/jam.
- 3) Jumlah jam kerja adalah 20 jam per hari; jumlah HK 25 hari/bulan, 286 hari/tahun
- 4) Tingkat diskonto 10,75 % berdasarkan suku bunga kredit investasi.
- 5) Perhitungan nilai penyusutan masing-masing investasi dengan metode garis lurus.
- 6) Untuk TBS dari kebun inti, maka hasil produksi CPO 22 % dari TBS yang diolah, untuk TBS dari kebun rakyat hasil produksi CPO 19 %. Hasil kernel 4 % dari TBS.
- 7) Asumsi harga TBS, CPO, dan kernel dianggap konstan setiap tahun (Harga TBS Rp. 1.447/kg; Harga CPO Rp. 7.000/kg; Harga Kernel Rp 4.500/kg; Harga Cangkang Rp. 500/kg).
- 8) Tidak ada peningkatan pengolahan bahan baku TBS PKS.
- 9) Peningkatan gaji karyawan dan *over head* kantor diasumsikan naik 4 % setiap tahunnya.
- 10) Pajak diasumsikan 25% dari keuntungan bersih yang diperoleh setiap tahunnya.
- 11) Biaya pemeliharaan PKS awal diasumsikan sebesar 3% dan pemeliharaan tahunan meningkat sebesar 1% dari biaya pemeliharaan tahun sebelumnya.

Analisis *Outflow* Pabrik Kelapa Sawit

Arus pengeluaran atau arus biaya dalam analisis kelayakan investasi pembangunan PKS dengan kapasitas olah 45 ton TBS/jam terdiri dari biaya investasi dan biaya operasional. Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan pada awal usaha dan saat tertentu untuk memperoleh manfaat. Pengeluaran biaya investasi dilakukan sebelum PKS berproduksi dan baru menghasilkan manfaat beberapa tahun kemudian. Total jumlah investasi PKS keseluruhan sebesar Rp. **170.810.313.576,-** atau setara dengan **3,7 milyar** per 45 ton TBS.

Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan biaya yang dikeluarkan secara berkala dalam rangka memenuhi input produksi dan kegiatan proses produksi agar pengoperasian PKS terintegrasi PKO berjalan dengan lancar. Biaya operasional terdiri biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap merupakan biaya yang wajib yang dikeluarkan oleh perusahaan terkait berjalan tidaknya proses pengolahan, seperti biaya gaji, listrik, perijinan, retribusi, pengolahan serta pemeliharaan, dan lain-lain. Rekapitulasi biaya tetap pendirian PKS kapasitas 45 ton TBS/jam terintegrasi PKO dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi Biaya Tetap kapasitas 45 ton TBS/jam

Fixed Cost	Jumlah (Rp.)
1 Gaji tetap di PKS	9.954.647.136
2 Listrik, Air, Telepon dan Benda Pos	20.000.000
3 Konsumsi Pekerja	12.000.000
4 ATK dan Rumah Tangga Kantor	17.000.000
5 Biaya Perijinan dan Retribusi	14.000.000
6 Pemeliharaan PKS	4.093.713.709
7 Biaya Umum/Sosial	24.000.000
Total Biaya Fixed Cost	14.135.360.845

Besarnya biaya tetap yang dikeluarkan pada tahun pertama adalah sebesar Rp 14.135.360.845,-. Biaya tetap yang dikeluarkan setiap tahunnya mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi karena kebutuhan PKS kapasitas 45 ton TBS/jam yang tidak menentu setiap tahunnya, seperti biaya pengolahan dan pemeliharaan pabrik. Selain itu gaji pegawai pabrik setiap tahun juga mengalami peningkatan serta karena adanya peningkatan produksi.

Selanjutnya adalah biaya variabel, merupakan biaya yang dikeluarkan perusahaan terkait proses pengolahan dan penggunaan input produksi. Besarnya biaya variabel selaras dengan volume produksi PKS atau penjualan setiap tahun. Rekapitulasi biaya variabel dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Rekapitulasi Biaya Variabel PKS kapasitas 45 ton TBS/jam

No	Uraian Biaya	Harga (Rp/Kg)	Kg/Tahun	Jumlah Biaya (Rp/Tahun)
1	Biaya Tanaman			
	1.1. Biaya Tanam	1.059	230.000.000	243.570.000.000
2	Biaya Pembelian			
	2.1. Biaya Pembelian TBS	1.447	-	-
3	Biaya Pengolahan			
	3.1. Produksi CPO kebun inti	230.000.000	50.600.000	-
	3.2. Produksi CPO pembelian	-	-	-
	3.3. Produksi Kernel Kebun inti	-	9.200.000	-
	3.4. produksi Kernel pembelian	-	-	-
	Total Biaya Pengolahan CPO + Kernel	420	59.800.000	25.116.000.000
	Biaya Penjualan		-	
4		184		11.012.170.000
	Total Biaya Variabel Cost			279.698.170.000

Kebutuhan Dana untuk Investasi, Modal Kerja dan Kredit

Kebutuhan dana untuk pembangunan PKS kapasitas 45 ton TBS/jam terdiri dari kebutuhan investasi dan modal kerja. Dana investasi dan modal kerja tersebut bersumber dari kredit bank dan dana milik sendiri. Total dana proyek yang dibutuhkan Rp. 464.643.844.421,- sebanyak 70% Rp.325.250.691.094,- bersumber dari kredit bank, sedangkan sisanya sebesar Rp.139.393.153.326,- merupakan dana sendiri. Kredit investasi ini berjangka waktu 15 tahun dengan pembayaran bunga setiap bulan dengan suku bunga 10,75% per tahun.

Analisis Inflow Pabrik Kelapa Sawit

Penerimaan PKS berasal dari pendapatan penjualan produk yang terdiri dari CPO, kernel, dan cangkang. Pendapatan penjualan merupakan hasil penjualan produk yang sangat dipengaruhi oleh kemampuan produksi PKSterintegrasi PKO dan harga penjualan produk. Produksi CPO, kernel, dan cangkang yang dihasilkan tergantung dari kapasitas olah terpasang PKS, tingkat rendemen CPO, tingkat rendemen kernel, tingkat rendemen cangkang, dan pasokan bahan baku TBS ke pabrik.

Tahun pertama pendirian PKS, terdapat pengeluaran untuk biaya investasi diikuti dengan kegiatan produksi sehingga PKS tetap mendapatkan penerimaan awal walaupun pada tahun pertama PKS masih mengalami kerugian. Hal ini disebabkan pada tahun pertama belum dapat mengoptimalkan kemampuan produksi. Diproyeksikan pada tahun pertama dan ke dua pasokan bahan baku TBS ke pabrik diperkirakan sekitar 70 dan 80 persen dari kapasitas rencana, baru pada tahun ke tiga pasokan bahan baku TBS diperkirakan normal. Kondisi ini tentu saja berpengaruh pada *output* produksi dan penerimaan hasil penjualan produk. Tabel 7 menyajikan rekapitulasi penerimaan (inflow), produksi dan hasil penjualan produk selama umur proyek.

Analisis Laba Rugi

Proyeksi laba-rugi didasarkan pada besarnya volume penjualan dan harga jual produk yang dihasilkan oleh PKS kapasitas 45 ton TBS/jam terintegrasi PKO, serta selisihnya terhadap biaya produksi setiap tahun. Analisis laba-rugi digunakan untuk mengetahui perkembangan profitabilitas PKS dari tahun ke tahun selama PKS beroperasi secara komersial. Selain itu laporan laba-rugi juga digunakan sebagai instrumen untuk menghitung besar kecilnya pajak penghasilan PKS yang harus dibayarkan kepada pemerintah sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Berdasarkan

kondisi-kondisi yang diasumsikan, pada Tabel 8 disajikan rekapitulasi proyeksi laba-rugi dan pajak yang dihasilkan selama 15 tahun berturut-turut.

Tabel 7 Rekapitulasi Penerimaan Pabrik Kelapa Sawit

Tahun	Kapasitas Rencana (%)	Produksi CPO Kebun Inti (kg)	Produksi Kernel Kebun Inti (kg)	Produksi Cangkang (2% TBS)	Pendapatan CPO kebun inti (Rp)	Pendapatan Kernel Kebun inti (Rp)	Pendapatan Cangkang (Rp)	Total Penjualan (Rp)
0								
1	70%	35.420.000	6.440.000	3.220.000	247.940.000.000	28.980.000.000	1.610.000.000	278.530.000.000
2	80%	40.480.000	7.360.000	3.680.000	283.360.000.000	33.120.000.000	1.840.000.000	318.320.000.000
3	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
4	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
5	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
6	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
7	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
8	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
9	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
10	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
11	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
12	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
13	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
14	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000
15	100%	50.600.000	9.200.000	4.600.000	354.200.000.000	41.400.000.000	2.300.000.000	397.900.000.000

Tabel 8 Rekapitulasi Proyeksi Laba-Rugi Pabrik Kelapa Sawit

No	Uraian	Tahun		
		1	2	3 s/d 15
A	Penerimaan			
	Pendapatan CPO kebun inti	247.940.000.000	283.360.000.000	354.200.000.000
	Pendapatan CPO pembelian	-	-	-
	Pendapatan Kernel Kebun inti	28.980.000.000	33.120.000.000	41.400.000.000
	Pendapatan Kernel Pembelian	-	-	-
	Pendapatan Cangkang	1.610.000.000	1.840.000.000	2.300.000.000
	Total Penerimaan	278.530.000.000	318.320.000.000	397.900.000.000
B	Pengeluaran			
1	Biaya Variabel	279.698.170.000	282.495.151.700	285.320.103.217
2	Biaya Tetap	14.135.360.845	14.700.775.279	15.288.806.290
3	Depresiasi/penyusutan	6.191.707.287	6.191.707.287	6.191.707.287
4	Angsuran Bunga	33.361.912.033	29.865.467.104	26.369.022.175
	Total Pengeluaran	333.387.150.165	333.253.101.370	333.169.638.969
C	R/L Sebelum Pajak	(54.857.150.165)	(14.933.101.370)	64.730.361.031
D	Pajak (PPH 25%)	-	3.733.275.342	16.182.590.258
E	Laba Bersih	(41.142.862.624)	(11.199.826.027)	48.547.770.773

Pada tahun pertama dan kedua proyeksi produksi diperkirakan sebesar 70 persen dan 80 persen dari kapasitas normal. Penerimaan yang didapatkan dari total hasil penjualan dikurangi biaya-biaya belum diperoleh penerimaan

yang positif. Setelah kapasitas produksi pabrik beroperasi secara optimal (kapasitas rencana) mendapat laba bersih dari kegiatan adalah sebesar Rp.48.547.770.773.

Kriteria Kelayakan Investasi

Penilaian kelayakan suatu investasi ditinjau dari aspek finansial dilakukan dengan menggunakan parameter *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Net Benefit Cost Ratio (Net B/C)* dan *Payback period (PP)* disajikan pada Tabel 9 yang mengindikasikan **Layak**.

Tabel 9 Ringkasan Hasil Kriteria Investasi PKS

No	Parameter	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Proyek
1	Net Present Value (NPV)	Rp209.983.510.660	NPV > 0 (Layak)
2	Internal Rate of Return (IRR)	26,64%	IRR > bunga komersil (Layak)
3	Benefit Cost Ratio (BCR)	2,23	BCR > 0
4	Payback Periode (PP)	6 tahun, 5 bulan	PP < Umur ekonomis Proyek

Dengan memperhatikan kriteria *sustainability*, disain PKS diintegrasikan dengan PKO sehingga perlu dibuat sistem konveyor pengiriman kernel dari stasiun kernel. Kebutuhan energi listrik PKO yang selama ini menggunakan daya PLN, direncanakan dipasok dari produksi listrik turbin PKS. Integrasi PKS dan PKO berimplikasi pada efisiensi yakni energi, transportasi kernel, fasilitas utiliti lainnya, bahkan mungkin sejumlah satuan kerja serta personalianya. Pabrik juga dirancang dengan skenario pemanfaatan gas metan dari sistem penangkapan metan pada pengolahan limbah cair. Gas metan dapat dipergunakan untuk pembangkit listrik menggunakan PLTG dan dapat juga langsung dipergunakan sebagai bahan bakar Boiler. Penggunaan gas metan untuk pembangkit listrik langsung, tentu memerlukan investasi PLTG. Berbeda dengan penggunaan sebagai bahan bakar Boiler, maka cukup hanya dilakukan modifikasi pada *chamber* pembakaran Boiler. Dari uap Boiler dapat dipergunakan untuk menggerakkan *Turbine Generator* sebagai pembangkit listrik.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk melihat tingkat kepekaan PKS terhadap perubahan asumsi yang telah dibuat pada saat perencanaan. Analisis ini dilakukan pada dua indikator yaitu bila terjadi kenaikan biaya produksi (Tabel 10) dan penurunan kapasitas produksi sebesar 6 persen (Tabel 11). Penetapan kenaikan biaya produksi sebesar 6 persen merujuk pada data inflasi rata-rata tahunan di Indonesia 6-10 persen. Sedangkan penurunan kapasitas produksi 6 persen merupakan tingkat toleransi yang dianggap wajar atas penurunan pasokan bahan baku akibat faktor nonteknis yang mungkin terjadi di lapangan.

Tabel 10 Hasil analisis sensitivitas pada indikator kenaikan biaya produksi 6 %.

No	Parameter	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Proyek
1	Net Present Value (NPV)	Rp.118.159.614.128	NPV > 0 (Layak)
2	Internal Rate of Return (IRR)	20,22%	IRR > bunga komersil (Layak)
3	Benefit Cost Ratio (BCR)	1,69	BCR > 0
4	Payback Periode (PP)	9 tahun, 1 bulan	PP < Umur ekonomis Proyek

Dari hasil analisis yang dilakukan jika terjadi penurunan kapasitas produksi sebesar 6 persen, pembangunan PKS kapasitas 45 ton TBS/jam terintegrasi PKO masih **Layak** untuk dilaksanakan berdasarkan kriteria-kriteria investasi yang berlaku. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan kapasitas produksi pada tingkat toleransi 6 persen yang berkaitan dengan pasokan atau ketersediaan bahan baku masih dapat memberikan manfaat serta tidak menyebabkan aktifitas operasional pabrik kelapa sawit terganggu.

Tabel 11 Hasil analisis sensitivitas pada indikator penurunan kapasitas produksi 6%

No	Parameter	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Proyek
1	Net Present Value (NPV)	Rp.110.196.307.493	NPV > 0 (Layak)
2	Internal Rate of Return (IRR)	20,45%	IRR > bunga komersil (Layak)
3	Benefit Cost Ratio (BCR)	1,65	BCR > 0
4	Payback Periode (PP)	8 tahun, 6 bulan	PP < Umur ekonomis Proyek

4 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Teknologi sterilisasi merupakan salah satu keputusan strategis dalam pembangunan PKS baru. Pengambilan keputusan kriteria jamak yang digunakan dalam pemilihan teknologi sterilisasi untuk PKS baru mengintegrasikan kriteria *sustainability*, diindikasikan dari efisiensi proses produksi, penghematan penggunaan energi, dan tingkat pencemaran lingkungan. Pabrik yang direncanakan berkapasitas 45 TBS direkomendasikan menggunakan teknologi *horizontal sterilized-indexer* dengan beberapa kelebihan yang relatif mendekati *vertical sterilized* namun lebih baik dibandingkan *continuous sterilized*, diantaranya dalam aspek indeks biaya investasi yang rendah, nilai DOBI lebih baik, *oil in liquor*, *oil in condensate*, dan volume limbah. Teknologi *horizontal sterilized-indexer* menghasilkan indeks pembebanan terkecil yaitu 17,4486 sehingga menjadi prioritas pendirian PKS baru di PTPN V.

Investasi yang diperlukan untuk pembangunan PKS Tandun 2 dengan kapasitas 45 ton/jam menggunakan teknologi sterilisasi horizontal-indexer memerlukan dana sebesar Rp. 170,8 milyar untuk investasi dan modal kerja sebesar Rp. 464,6 milyar. Penerimaan positif setelah kapasitas optimal pada tahun ketiga. Investasi PKS secara mandiri dinyatakan layak dengan IRR 26,64%, NPV Positif, B/C ratio 2,23, dan PBP 6 tahun 5 bulan. Hasil analisis sensitivitas terhadap asumsi kenaikan biaya produksi sebesar 6 persen masih belum merubah rekomendasi bahwa pembangunan PKS Tandun 2 masih **Layak**, demikian juga terjadi penurunan kapasitas olah pabrik sebesar 6 persen.

Apabila pembangunan PKS terintegrasi KCP dan disertai pemanfaatan gas metan dari pengolahan limbah cair juga dinilai layak. Penghematan per tahun, termasuk kompensasi dari penjualan cangkang yang semula menjadi bahan bakar Boiler, adalah sebesar 400.000 USD. Proyek penggunaan gas metan menjadi bahan bakar Boiler dinyatakan layak dengan tingkat IRR 37% dan NPV Positif. Skenario pembangunan sistem pengolah limbah dengan *methane capture* dapat memperbaiki kinerja lingkungan perusahaan. Kegiatan tersebut memperbaiki *Carbon Footprint* produk dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Perusahaan dapat memperoleh pengakuan melalui sertifikasi karbon internasional.

Saran

Beberapa unit proses pada disain PKS dengan sistem horizontal perlu disesuaikan, terutama penambahan sistem otomasi *indexer*. Sistem kontrol otomatis diperlukan untuk *loading* dan *unloading* TBS ke dalam *sterilizer*. Dengan penambahan unit tersebut, diperhitungkan akan menghemat tenaga kerja dan meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja.

Referensi

- Afoakwa, E.O. and Dawson, E.S. (2013). *Palm Oil Processing Technology, Palm Oil and Palm Kernel Oil*. Scholar's Press, Saarbruchen.
- Badan Pusat Statistik. (2018). Provinsi Riau dalam Angka. *BPS-Statistic of Riau Province*

- Chandrakumar, C., Kulatunga, A.K., and Mathavan, S. (2017). A multi-criteria decision-making model to evaluate sustainable product designs based on the principles of Design for Sustainability and Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Conference Paper in Smart Innovation*. April 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-57078-5_34
- Chavalparit, O. (2006). Clean Technology for the Crude Palm Oil Industry in Thailand. *Dissertation*. Wageningen Universiteit, Amsterdam.
- Dewan Minyak Sawit Indonesia. (2020). Harga Pasar. [Http://dmsi.or.id](http://dmsi.or.id) Diakses 12 Agustus 2020.
- Erdogan, S.A., Šaparauskas, J., and Zenonas Turskis, Z. (2019) A multi-criteria decision-making model to choose the best option for sustainable construction management. *Sustainability* 11, 2239, pp. 1-19. doi:10.3390/su11082239
- Haddah, B., Liazid, A., and Paula Ferreira, P. (2017). A multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system. *Renewable Energy*, 107(C), pp. 462-472. 10.1016/j.renene.2017.01.035
- Hasibuan, S. and Thaheer, H. (2018). Scaling up Model for Developing Second-Generation (2G) Bioethanol by using Palm Empty Fruit Bunches Feedstock. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia, March 6-8, 2018*, pp. 1028-1038.
- Hidayati, J. and Hasibuan, S. (2019). Value Chain Analysis and Value Added Enhancement of Indonesia Crude Palm Oil Supply Chain. *International Journal on Advance Science, Engineering, Information Technology* 9, 2, pp. 397-404. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.7708>
- Ichsan. M. (2017). *Perbandingan Type Sterilizer PMKS*. PT Astra Agrolestari Tbk., Jakarta.
- Junaidah, M.J., Norizzah, A.R., Zaliha, O. and Mohamad, S. (2015). Optimisation of sterilisation process for oil palm fresh fruit bunch at different ripeness. *International Food Research Journal* 22(1), pp. 275-282
- Kementerian Pertanian. (2018). Statistik Perkebunan Indonesia: Kelapa Sawit 2015-2017. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian RI., Jakarta.
- Kramanandita, R, T. Bantacut, M.Romli, dan M. Makmoen. (2014). Dampak Perubahan Efisiensi Di Stasiun Sterilisasi Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Model Input-Output Leontief. *Jurnal Riset Industri* 8, 2, pp. 129 – 134.
- Lee M.K, H. Hashim, Hoo P. Y., Ho W. S., N. A.Yunus, dan Lim J. S. (2017). Biogas Generated from Palm Oil Mill Effluent for Rural. *Chemical Engineering Transactions* 61, pp. 1537-1542.
- Malkawi, S., Al-Nimr, M., and Azizi, D. (2017). A multi-criteria optimization analysis for Jordan's energy mix. *Energi* 127 (C).pp. 680-696.
- Marimin. (2007). *Konsep dan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- MCA Indonesia. (2014). Methane for Power: Generating Power from Palm Oil Mill Effluent. Millennium Challenge Account-USA, Jakarta
- Nasution, M.A., Hasibuan, H.A., dan Yudanto, B.G. (2011). Komparasi Sterilizer Konvensional dan Modern. *Conference Paper*. <https://www.researchgate.net/publication>. Diakses 25 Juli 2020.
- Prasetya, H., Arkeman, Y., Hambali, E. (2013). Role of Methane Capture for Sustainable Biodiesel Production from Palm Oil: A Life Cycle Assessment Approach. *International Journal on Advance Science, Engineering, Information Technology* 3, 5, pp. 17-20
- PTPN 5. (2017). Laporan Tahunan 2016. PTPN V, Pekanbaru.
- Purwanto, H. (2012). Comparison of Vertical and Continuous Sterilizers in Palm Oil Mills. *Thesis*. Universiti Putra Malaysia.
- Rahayu, A.S. et al. (2015). *Handbook POME-to-Biogas Project Development in Indonesia*. Winrock International-USAID, Jakarta
- Sivasothy, K., Halim, R.M., and Basiron, Y. (2005). A New System for Continuous Sterilization of Oil Palm Fresh Fruit Bunches. *Journal of Oil Palm Research* 17, pp. 145-151.

- Sivasothy, K. Y. Basiron, A. Suki, R. M. Taha, Tan Y H, and M. Sulong. (2016). Modelling and simulation of heat penetration in palm fruitlets during thermal treatment process. *Journal of Oil Palm Research* (Special Issue). pp. 145-150
- Subiyanto. (2013). Pemilihan Teknologi Sterilizer Pada Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Teknik Industri* 14, 2, pp. 159–172
- Tokyo Electric Power Environmental Engineering Co., Inc. (2009). Feasibility Study Report Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Co-benefits CDM Project (Summary). GEC CDM/JI Support Programme commissioned by the Ministry of the Environment, Japan.
- Wimmler, C., Hejazi, G., Fernandes, E.O., Moreira, C., and S. Connors, S. (2015). *Journal of Clean Energy Technologies* 3, 3, pp. 185-195.