

Skala Keekonomian Terkecil Pabrik Bioplastik *Starch-Cellulose Blend* Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit

Edi Djatmika^{1*}, Hermawan², Sawarni Hasibuan³, Bambang Wahyudiono⁴

¹Fakultas Ekonomi Manajemen, Universitas Pakuan Bogor, Indonesia

²Fakultas MIPA Universitas Pakuan Bogor, Indonesia

³Program Studi Teknik Industri Pasca Sarjana, Universitas Mercubuana Jakarta, Indonesia

⁴Sekolah Vokasi, Universitas Pakuan Bogor, Indonesia

Korespondensi penulis: hermawantaher@unpak.ac.id

Abstract: Empty oil palm bunches processed by palm oil mills in Indonesia are still abundant, reaching 56.35 million tons per year. Empty oil palm bunches contain around 40% cellulose, so they can still be used for various derivative products, one of which is composite products. The use of empty oil palm bunches as raw materials for Bioplastic production is a series of ongoing research, one of which is starch-cellulose blend, but until now it has not been successfully commercialized. The design of the starch cellulose blend bioplastic industry using palm oil as raw material produces two factories, namely a cellulose factory and a composite bioplastic factory. Both factories are designed in separate buildings. The separation of cellulose from TKKS uses a chemical method with soda, after mechanical treatment of size reduction. The industry is designed in 3 scales of production capacity, namely a large scale of 190,000 tons / year, medium 115.00 tons / year, and small 40,000 tons/year. The financial analysis of the three scales of production capacity as a whole is declared feasible. Profit margin is calculated at a minimum of 17.6%. The average payback period is between 3-5 years with an IRR of 24-49%. Analysis of the economic value produces an EScale index of 0.64 which indicates that the economic scale has been achieved. The economic scale of the starch cellulose blend bioplastic industry from TKKS is at a production capacity of 40,000 tons per year with a minimum supply of TKKS raw materials of 20,203 tons/year. At the smallest economic scale, the BEP is actually only 6627.4 tons/year, where this condition can be achieved because the industry has relatively small fixed costs.

Keywords: Bioplastics, Sellulosa, Keekonomian.

Abstrak : Tandan kosong kelapa sawit hasil pengolahan pabrik kelapa sawit di Indonesia masih berlimpah, mencapai 56,35 juta ton per tahun. Tandan kosong kelapa sawit mengandung sekitar 40% sellulosa, sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk turunan, salah satunya adalah produk komposit. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku produksi Bioplastik merupakan rangkaian penelitian yang terus dilakukan, salah satunya adalah starch-cellulose blend, namun hingga saat ini belum berhasil dikomersialisasikan. Rancangan industri bioplastik starch cellulose blend menggunakan bahan baku kelapa sawit menghasilkan dua pabrik yakni pabrik sellulosa dan pabrik bioplastik komposit. Kedua pabrik dirancang dalam bangunan terpisah. Pemisahan sellulosa dari TKKS menggunakan metoda kimia dengan soda, setelah dilakukan perlakuan mekanis pengecilan ukuran. Industri dirancang dalam 3 skala kapasitas produksi yakni skala besar 190,000 Ton/tahun, sedang 115,00 Ton/tahun, dan kecil 40,000 Ton.tahun. Analisis finansial terhadap ketiga skala kapasitas produksi tersebut secara keseluruhan dinyatakan layak. Profit margin diperhitungkan minimal 17,6%. Rata-rata payback period antara 3-5 Tahun dengan IRR antara 24-49%. Analisis terhadap nilai keekonomian menghasilkan indeks EScale 0,64 yang menunjukkan bahwa skala keekonomian telah tercapai. Skala keekonomian industri bioplastic *starch cellulose blend* dari TKKS berada pada kapasitas produksi 40.000 Ton per tahun dengan pasokan bahan baku TKKS minimal 20.203 Ton/tahun. Pada skala keekonomian terkecil tersebut, BEP sebenarnya hanya 6627,4 Ton/tahun, di mana kondisi tersebut dapat dicapai karena industri tersebut memiliki biaya tetap yang relative kecil.

Kata kunci : Bioplastik, Sellulosa, Keekonomian.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan plastik di Indonesia mencapai lebih dari 3,4 juta ton, dimana sekitar 50% berasal dari impor yang diperkirakan terus meningkat 11,7% tiap tahunnya. Konsumsi plastik konvensional secara nasional pun cukup tinggi, per kapita sudah mencapai 17 kilogram per

tahun, terus meningkat 6-7% setiap tahunnya (Kemenperin, 2020). Industri makanan dan minuman adalah konsumen terbesar plastik melalui permintaan atas kemasan. Penjualan kepada industri makanan dan minuman menyumbangkan lebih dari 60% dari total omzet industri kemasan pada 2020. Mayoritas kemasan yang digunakan oleh industri di Indonesia adalah kemasan plastik. .

Di Indonesia, menurut data statistik persampahan domestik Indonesia, jenis sampah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5.4 juta ton per tahun atau 14% dari total produksi sampah. Begitu juga dalam urutan penghasil sampah plastik terbesar di Dunia, Indonesia menduduki peringkat kedua setelah China. Kategori sampah plastik yang terbesar berasal dari kemasan dan wadah seperti; botol minuman, tutup botol, botol sampo dan lainnya. *Indonesia National Plastic Action Partnership* mencatat Indonesia menghasilkan sekitar 6,8 juta ton sampah plastik per tahun di mana sekitar 9% atau 620.000 ton masuk ke sungai, danau dan laut (World Bank, 2021).

Pengembangan bioplastik menggunakan bahan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sejalan dengan Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) di mana pemerintah menargetkan pengembangan plastik bio berbasis limbah sawit untuk tahun 2020-2024. Di Indonesia ketersediaan TKKS cukup berlimpah, dibuktikan dengan sebaran kelapa sawit di beberapa provinsi, dengan area perkebunan terbesar di Provinsi Riau, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah dan Sumatera Utara (BPS, 2020). Potensi TKKS Indonesia diperkirakan mencapai 56,35 juta ton per tahun.

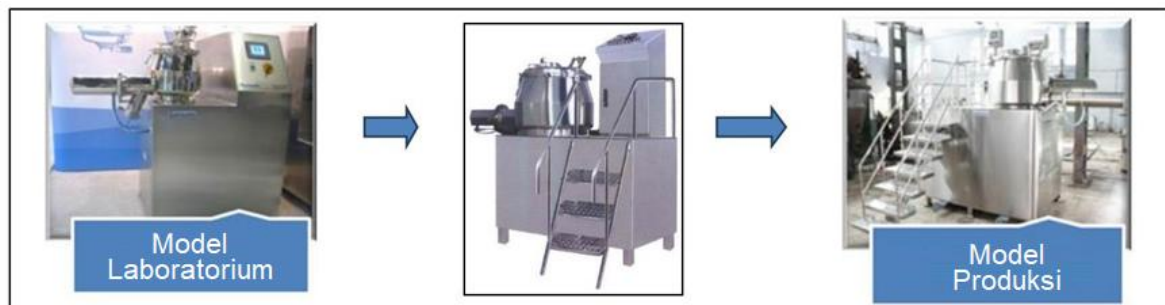
Isro' *et al* (2017) membuat bioplastic dari sellulosa TKKS dan menghasilkan lembaran plastic komposit dengan pati melalui metoda cetak. Selanjutnya Rahman *et al* (2018) menguji sifat *biodegradability bioplastic* yang dihasilkan dari TKKS. Husaini *et al* (2020) juga membuat bioplastic komposit berbahan beras ketan dengan sellulosa dari TKKS. Penelitian skala laboratorium tersebut memperbaiki ketahanan plastic yang dihasilkan terhadap kelarutannya dalam air.

Secara umum, limbah tandan kosong kelapa sawit di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Selama ini penggunaan TKKS terbatas pada pembuatan pelet, bubur kertas dan pulp (Erwinsyah *et al.*, 2015), bahan bakar boiler (Praevia, *et al.*, 2022), mulsa (Harahap, 2022), kompos maupun pengeras jalan di perkebunan. Limbah tersebut mempunyai potensi besar sebagai bahan baku plastik ramah lingkungan dengan kandungan sekitar 40% selulosa, 23-30% lignin, hemiselulosa dan air. Rancangan industri bioplastik *starch-cellulose blend* berbahan baku TKKS diperlukan untuk merealisasikan sejumlah penelitian yang telah dilakukan menjadi komoditas komersial dengan skala keekonomian terkecil.

2. METODOLOGI

Disain Proses

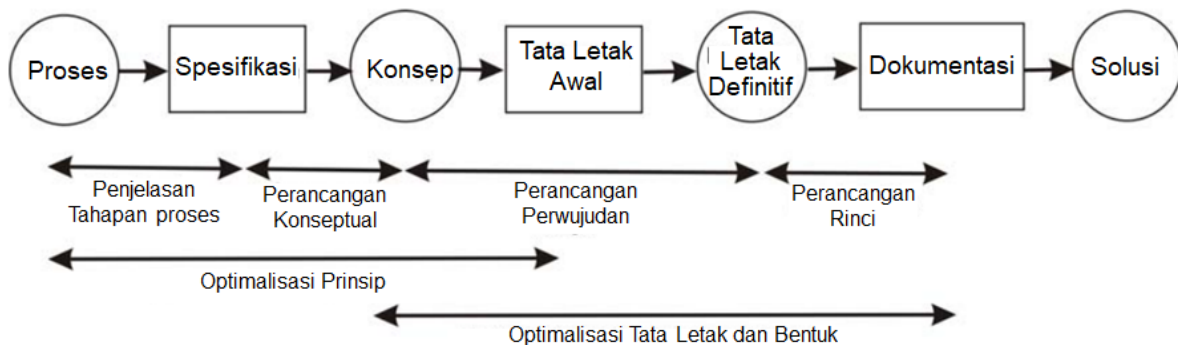
Produksi komersial bioplastic *Starch-Cellulose Blend* dari TKKS hingga saat ini belum tersedia, sehingga disain proses didasarkan pada sejumlah penelitian pada skala laboratorium dan *Pilot Plant*. Tahap komersialisasi menjadi proses dilakukan menggunakan pendekatan penggandaan skala, sebagaimana dilakukan oleh Dumpala *et al* (2020). Secara diagramatik proses penggandaan skala disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Penggandaan Skala (Dumpala *et al.*, 2020)

Rancang Bangun Industri

Rancang Bangun Industri Bioplastik *Starch-Cellulose Blend* berbahan baku TKKS Pada Skala Keekonomian Terkecil dilakukan setelah proses penggandaan skala dilakukan. Tahapan rancang bangun industri mengikuti disain dasar Pahl dan Beitz yang diadopsi pada penelitian Reinders (2006) pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram alir yang menggambarkan metode desain dasar industri Pahl dan Beitz (Reinders, 2006)

Skala Keekonomian

Skala Ekonomi Skala ekonomi (economics of scale) adalah fenomena turunnya biaya produksi per unit dari suatu perusahaan yang terjadi bersamaan dengan meningkatnya jumlah produksi (output), output yang dapat digandakan dengan biaya yang kurang dari dua kali lipat. Dengan kata lain, perusahaan sedang menikmati skala ekonomi ketika dapat melipatgandakan output-nya dengan biaya lebih sedikit dari dua kali biaya produksi. Dengan asumsi bahwa suatu perusahaan menghasilkan vektor output y_n dimana $y_n = (1, \dots, N)$, skala ekonomi dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$ESCALE = \frac{C(y)}{y \times \nabla C(y)} = \frac{C(y)}{\sum_{n=1}^N y_n C_n(y)}$$

di mana $C(y)$ menunjukkan biaya produksi vektor keluaran dan $C_n(y)$ menunjukkan biaya marginal untuk memproduksi keluaran. Skala ekonomi dengan nilai lebih tinggi dari satu menunjukkan bahwa perusahaan beroperasi di bawah skala ekonomi yang meningkat yang berarti bahwa akan ada peningkatan biaya rata-rata yang kurang proporsional jika output meningkat juga. (Malinos-Senante and Maziotis, 2021)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Disain Proses Produksi

Tandan kosong kelapa sawit terlebih dahulu mengalami perlakuan pre proses seperti pengutipan sisa minyak, pencucian, hingga pengecilan ukuran 3-5 cm (Dewanti, 2018). Pemilihan metode pre proses untuk *chipping* dan penggilingan tergantung pada ukuran partikel akhir biomassa yang diinginkan, biasanya dalam kisaran 10–30 mm setelah *chipping*, dan 0,2–2 mm setelah *milling* atau *grinding*. Dalam sebuah studi oleh Rizal *et al.* (2018) menemukan bahwa ukuran partikel terbukti memainkan peran penting dalam meningkatkan hidrolisis TKKS.

Perlakuan alkali melibatkan penggunaan basa, seperti natrium, kalium, kalsium, dan amonium hidroksida. Perlakuan tersebut menyebabkan pembengkakan lignoselulosa biomassa, pelarutan lignin dan hemiselulosa, dan de-esterifikasi ikatan ester antar molekul yang kemudian mengurangi tingkat polimerisasi dan indeks kristalinitas. Karena perlakuan alkali melarutkan sebagian besar lignin, perlakuan ini lebih disukai daripada asam yang melarutkan karbohidrat. Perlakuan alkali dipergunakan pada saat akan diambil selulosanya.

Pada rancangan proses, pemisahan serat selulosa dilakukan kombinasi antara perlakuan fisik dan kimiawi. TKKS kering didelignifikasi dengan natrium hidroksida pada dosis 1 g

NaOH/100 g TKKS dengan konsentrasi 10%. Menurut Dewanti (2018) penggunaan NaOH 12% dapat mencapai *Yield* selulosa hingga 80% dari total selulosa. Digester dipanaskan sampai tekanan di dalam digester 6 bar selama 5 jam. Pulp kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan residu NaOH dan lindi hitam. Natrium hipoklorit (5,25% dalam air b/b) digunakan untuk pemurnian selulosa (Widiastuti dan Marlina, 2020).

Bioplastik dari komposit pati selulosa dibuat dengan proses pengecoran larutan dan penguapan menggunakan pati singkong sebagai matriks polimer dan gliserol sebagai *plasticizer*. Larutan selulosa ditambahkan perlahan-lahan ke dalam pati tergelatinisasi dan diaduk hingga semua selulosa tercampur rata dalam pati tergelatinisasi. Jumlah selulosa yang ditambahkan tak lebih dari 12,5% agar sifat plastis dapat dipertahankan.

Pembuatan bioplastik memerlukan penambahan bahan pendukung lainnya seperti *plasticizer* dan biopolimer untuk perbaikan sifat fisik, sifat mekanik dan ketahanan bioplastik terhadap air. Untuk mengatasi kekurangan dari pati dapat ditambahkan dengan zat pemlastis (*plasticizer*) dan filler guna mengatasi proses degradasi yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti sinar matahari, panas, dan faktor alam. Penambahan gliserol pada kisaran konsentrasi 25%-37,5% untuk memperbaiki daya plastis.

Plasticizer yang digunakan adalah gliserol, karena gliserol merupakan bahan yang murah, sumbernya mudah diperoleh, dapat diperbaharui dan juga mudah terdegradasi oleh alam (Yusmarlela, 2009). Berdasarkan penelitian Manalu dan Darni (2012), sifat fisik dan mekanik bioplastik telah mampu diperbaiki dengan penambahan *plasticizer* gliserol sehingga dapat menyerupai sifat fisik dan kimia plastik konvensional HDPE.

Bahan baku berikutnya adalah bahan pengikat (*binder*) yang digunakan agar pati tetap bercampur dengan *plasticizer*. Pati yang dicampurkan dalam bentuk tepung ke dalam gliserin cair, akan mengalami kecenderungan mengendap setelah didiamkan akibat gravitasi. Untuk mempertahankan campuran tersebut, maka digunakan pengikat. *Poly Vinyl Alcohol* (PVA) adalah salah satu bahan pengikat yang dapat dipergunakan. Hasil penelitian LIPI (2019), berhasil memproduksi plastik dari pati singkong dengan bahan pengikat PVA. Meskipun PVA masih dapat terdegradasi, namun penggunaannya menjadi kontroversial karena dipergunakan dari turunan Petrokimia. Penggunaan PVA mencapai 10% dari campuran bioplastik. Dapat juga dipergunakan bahan *plasticizer* alternatif alami, seperti misalnya Kitin dari kulit udang (Abdullah *et al.*, 2019)

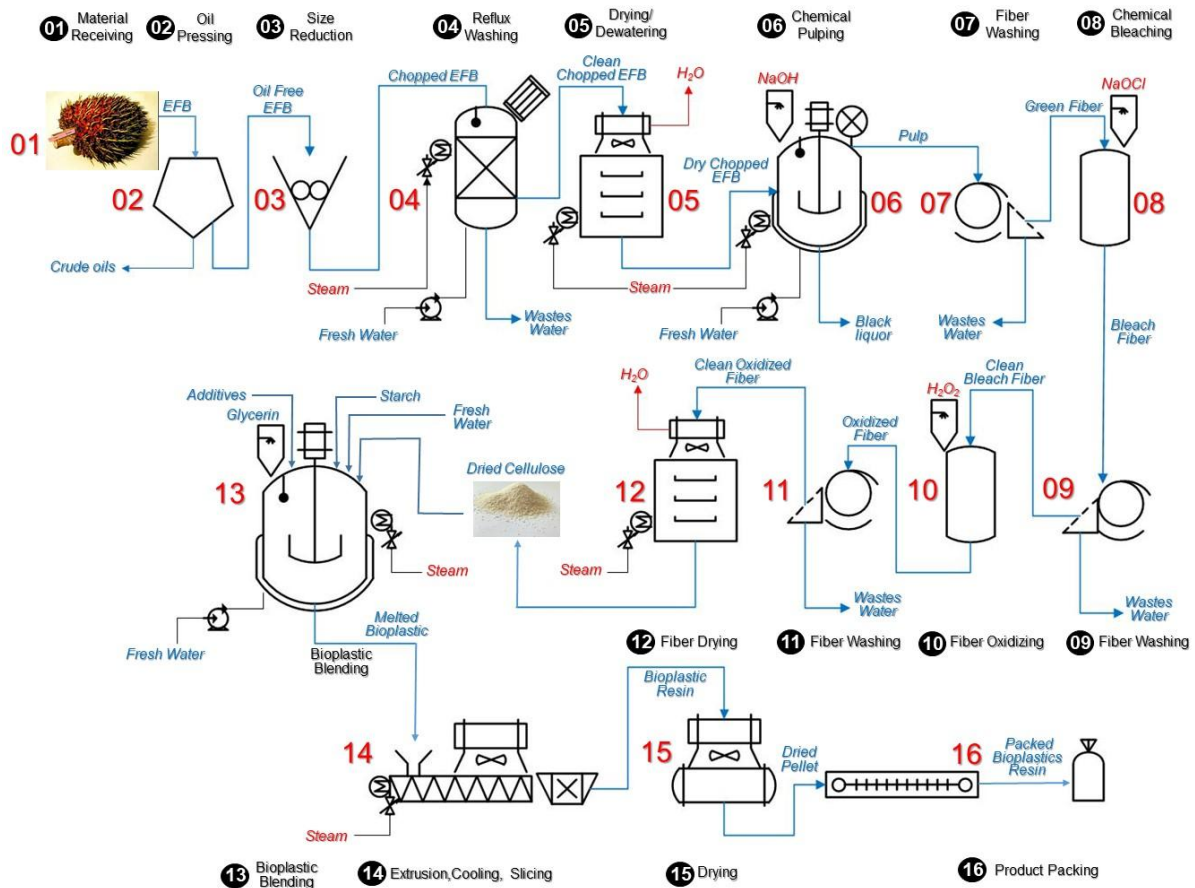
Sistem pembuatan biji plastik tipe *strand pelletizing* menawarkan metode modern serta ekonomis untuk pembuatan biji plastik dari beragam bahan material seperti HDPE, LDPE, PP, PET, PETP, ABS, PC, dan PA, serta dapat memroses tipe material yang lebih banyak lagi

dibandingkan dengan sistem pembuatan biji tipe *water-ring*. Sistem tersebut tersedia dalam peralatan pembuatan biji plastik untuk pemotongan basah dan kering, menghasilkan kualitas terbaik dari pelet silindris ataupun mikro granula yang ideal untuk pemrosesan selanjutnya. Sistem pembuatan biji plastik tipe ini biasanya terdiri dari mesin ekstrusi, tangki pendingin, mesin pembuatan pelet, mesin ayak, pengering dan silo penyimpanan.

Pellet yang dihasilkan dikeringkan lebih lanjut agar mencapai kadar air tidak lebih dari 10%. Pengeringan dapat dilakukan dengan sistem udara panas. Secara diagramatik, proses produksi *starch blend bioplastic* dengan bahan baku pati dan selulosa dari TKKS diperlihatkan pada Gambar 3.

Dari bijih plastic yang dihasilkan, selanjutnya diproses menjadi lembaran plastik. Proses *Blow Film* merupakan proses manufaktur lembaran plastik dengan menggabungkan proses *blowing* (peniupan) dan *extrusion* (ekstrusi) (Kraus et al., 2020). Pada proses *blow film*, material plastik akan dilelehkan terlebih dahulu dan membentuk tube (selang), kemudian ditiupkan angin ke segala arah dan digulung menjadi suatu gulungan plastik. Namun demikian, pada rancangan yang dilakukan, belum menambahkan unit pabrik *Blow Film*.

Rancangan pabrik bioplastik starch cellulose blend berbahan baku TKKS terdiri dari 2 pabrik utama yakni : a) Pabrik selulosa (Pabrik 1) dan b) Pabrik Bioplastik Komposit (Pabrik 2). Karakteristik kedua pabrik tersebut berbeda sehingga tidak disatukan dalam satu gedung. Rancangan tata letak dan jumlah mesin untuk kedua pabrik tersebut diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Rancangan proses produksi starch-cellulose blend plastik berbahan TKKS

Disain Kapasitas Industri

Disain kapasitas industri Starch-Cellulose Blend Bioplastik berbahan baku TKKS didasarkan kepada dua pertimbangan utama yakni:

1. Kapasitas produksi dirancang disesuaikan dengan kondisi real pemanfaatan TKKS saat ini, khususnya di sekitar locus industri kelapa sawit. Dewasa ini hampir 100% TKKS telah dipergunakan di perkebunan kelapa sawit. Sebagai gambaran, disain kapasitas dibuat dengan pertimbangan skala sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Disain kapasitas Industri Starch Blend Bioplastik TKKS

Kondisi	Skala Besar	Skala Medium	Skala Kecil
Bahan Baku TKKS (ton/Tahun)	101.016	60.610	20.203
Kapasitas Produksi Bioplastik (ton/tahun)	190.000	115.000	40.000
Shift Operasi (Jam per hari)	3 (24 jam)	2 (16 jam)	1 (8 jam)

2. Proporsi maksimal selulosa dalam *starch blend* yang dapat memperbaiki kinerja bioplastik yang dihasilkan yakni 12.5%. Kapasitas produksi itu sendiri diskenariokan hanya tercapai 55% pada tahun pertama dan terus mencapai 100% setelah tahun kelima dan seterusnya.

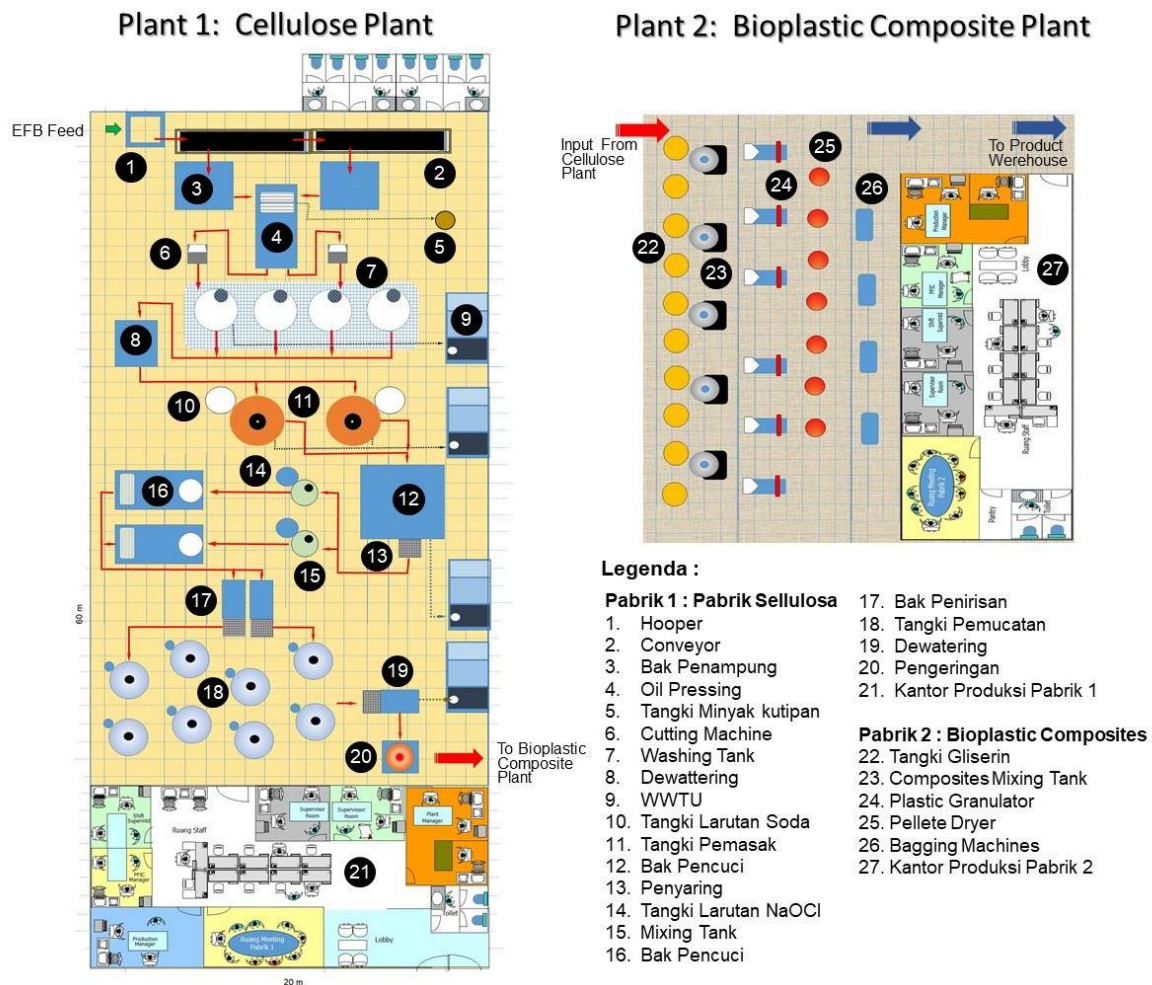
Sebagai dasar perhitungan skala ekonomi, diambil skala terkecil. Neraca keseimbangan bahan untuk industri *starch blend bioplastic* TKKS Skala kecil disajikan pada Tabel 2. Apabila simulasi pada skala terkecil tidak memenuhi syarat keekonomian, maka akan dilanjutkan pada perhitungan skala medium dan besar.

Tabel 2. Keseimbangan Material pada Produksi Starch Blend Bioplastik dari TKKS, Skala Produksi Kecil

No	Tahapan Proses	Bahan Masuk		Bahan Keluar				
		Jenis Bahan	Volume (kg)	Jenis Produk	Volume (kg)	Losses (kg)	Wastes (kg)	Side prod. (kg)
1	Penerimaan Bahan Baku	TKKS	67,344					
2	Pengepresan	TKKS	67,344	TKKS no oil	67,007			337
3	Perajangan	TKKS no oil	67,007	Serat kotor	65,667			
4	Pencucian Refluks	Refluks	197,001					
		Serat kotor	65,667	Serat Basah	52,534			
		Air	131,334				144,468	
5	Pengeringan	Serat basah	52,534	Serat bersih	44,654	7,880		
6	Pemasakan Soda	Reaktan	205,407					
		Serat Bersih	44,654	Sellulosa kasar	18,888			
		Air	133,961				186,518	
		Soda	26,792					
7	Pencucian/Penyaringan	Sellulosa Kasar	18,888	Sellulosa kasar	18,322			
		Air Pencuci	75,554				76,121	
8	Pemucatan	Substrat	31,178	Substrat	31,178			
		Sellulosa	18,322	Sellulosa	18,322			
		NaOCl	641	Larutan	12,856			
		Air	12,215					
8a	Acid Settling	Substrat	31,178	Filtrat	19,607			
		Sellulosa	18,322	Sellulosa	18,322			
		Larutan	12,856	Larutan	1,286		11,570	
9	Pencucian dan Penirisan	Filtrat	96,752	Sellulosa basah	21,960			
		Sellulosa	19,607	Sellulosa	19,607			
		Larutan	18,322					
		Air	58,822	Air	2,353		74,791	
10	Oksidasi	Impregnated	105,237	Impregnated	10,980			
		Sellulosa	19,607	Sellulosa	9,804			
		Air	80,783	Larutan	1,176		94,257	
		H2O2	4,847					
11	Pencucian dan Penirisan	Impregnated	50,195	Bleached Cellulose	10,980			
		Sellulosa	9,804	Sellulosa	9,804			
		Air	40,391	Air	1,176		39,215	
12	Pengeringan	Bleached Cellulose	10,980					
		Sellulosa	9,804	Sellulosa	9,804			
		Air	1,176			1,176		
13	Resin Mixing	Mixed Material	627,751	Dough	131,828			
		Sellulosa	9,804	Sellulosa	8,137			
		Tapioka	75,207	Tapioka	80,471			
		Gliserin	28,202	Gliserin	23,408			
		Air	501,377	Air	8,888	495,923		
		PVA	13,161	PVA	10,924			
14	Moulding	Dough	131,828	Stick Resin	127,696			
		Resin Padat	122,940	Resin Padat	119,252			
		Air	8,888	Air	8,444		4,133	
14a	Pendinginan Udara	Stick Resin	127,696	Stick Resin	127,358	338		
		Resin Padat	119,252	Resin Padat	119,252			
		Air	8,444	Air	8,106			
14b	Perajangan	Stick Resin	127,358	Biji Plastik	126,165			
		Resin padat	119,252	Resin padat	118,059			1,193
		Air	8,106	Air	8,106			
15	Pengeringan	Biji Plastik	126,165	Biji Plastik	126,165			
		Resin Padat	118,059	Resin Padat	118,059			
		Air	8,106	Air	7,863	0		
16	Pengepakan	Biji plastik kering	126,165	Produk Kemasan	126,150			

Penentuan Mesin dan Infrastruktur Industri

Mesin industri dipilih sesuai dengan tahapan proses yang dilalui. Mesin yang dipilih disesuaikan dengan ketersediaan kapasitas komersial di pasar internasional sehingga tidak dirancang khusus (*non-customized*). Dengan demikian maka kebutuhan unit mesin dapat saja lebih banyak atau digandakan.



Gambar 4. Rancangan tata letak mesin pabrik produksi sellulosa dari TKKS dan pabrik bioplastik starch cellulose blend pada bangunan terpisah

Rancangan mesin dan peralatan produksi yang dipergunakan pada produksi *starch blend bioplastic* dari TKKS juga diperhitungkan dalam berbagai skala. Penggunaan mesin dan peralatan tersebut yang disesuaikan dengan skala produksi, juga berdampak terhadap jumlah unit mesin berikut penyediaan infrastrukturnya sebagaimana disajikan pada Tabel 3

Tabel 3. Perencanaan Peralatan dan Fasilitas Pendukungnya pada Beberapa Skala Produksi *Starch Blend Bioplastic* TKKS

Kondisi	Skala Besar	Skala Medium	Skala Kecil
Jumlah Mesin (Unit)	324	214	104
Utility Rata-rata (%)	75,62	63,99%	58,26
Kebutuhan Listrik Mesin (MWatt)	6,34	3,90	0,54
Kebutuhan Air Baku (ton/jam)	215,5	129,3	43,1
Kebutuhan Steam (ton/jam)	27,11	16,27	5,42

Pada disain kapasitas skala kecil, mesin utama tersebut rata-rata dioperasikan dalam 1 *shift* (8 jam). Kebutuhan listrik untuk pengoperasian mesin industri diperkirakan 0.54 MW, maka dengan ditambah kebutuhan kantor dan penerangan, jumlah minimal pasokan listrik sekitar 1,5 MW.

Kebutuhan uap panas untuk proses pada industri skala kecil hanya 5,42 ton/jam. dan kebutuhan air 43.1 ton per jam , di luar kebutuhan air Boiler. Maka kebutuhan tersebut masing-masing harus ditambahkan dengan kebutuhan domestik dan cadangan, setidaknya ditambah 30% lagi.

Rancangan kawasan industri bioplastik *starch cellulose blend* berbahan TKKS terdiri dari sejumlah fasilitas sebagaimana disajikan pada Gambar 6. Industri dirancang berada dalam kawasan indstri komersial, sehingga beberapa kebutuhan infrastruktur dasar diharapkan dapat disediakan oleh Kawasan Industri.



Gambar 5. Rancangan tata letak industri terpadu bioplastik starch cellulose blend berbahan baku TKKS dalam suatu kawasan komersial

Kebutuhan tenaga kerja untuk pabrik ditentukan dari jumlah unit mesin yang dipergunakan dan jam pengoperasian mesin tersebut. Disain kebutuhan tenaga kerja juga disesuaikan dengan skala industri, untuk skala terkecil diperlukan 233 orang dengan 12 orang di antaranya pada level manajerial.

Analisis Finansial

Pilihan investasi untuk pendirian industri *starch-cellulose blend bioplastic* TKKS disajikan dalam 3 (tiga) skala dengan besaran nilai biaya modal (*Capital Expenditure*) sebagaimana Tabel 4. Modal kerja awal diperhitungkan untuk biaya operasional selama 6 (enam) bulan. Untuk analisa kelayakan proyek, dihitung menggunakan skenario sebagai Industri Kimia Dasar dimana perbandingan *Debt : Equity* adalah 19,72% : 80,28%. Umur proyek diproyeksikan 25 tahun sehingga menghasilkan analisa sebagaimana Tabel 5.

Tabel 4. Biaya Modal Pendirian Industri *Starch-Cellulose Blend Bioplastic* TKKS dalam Tiga Skala Industri (x Rp. 1.000.000)

Uraian	Skala Besar	Skala Medium	Skala Kecil
Machineries	956.115,34	715.865,77	460.295,40
Building & civil works	37.579,00	32.031,10	22.402,76
Land for project	43.499,42	248.478,00	11.738,50
Additional equipment	9.889,14	9.889,14	9.889,14
Indirect capital investment	14.486,08	14.243,08	3.794,16
Initial working capital	2.563.128,98	1.605.165,58	515.907,54
Total biaya investasi	Rp. 3.624.697,95	Rp. 2.625.672,67	Rp. 1.024.027,47

Sebagai basis perhitungan skala keekonomian, selanjutnya diambil data dari skala kapasitas industri terkecil, mengingat ketiga skala semuanya layak secara finansial. Dilakukan perhitungan dengan kenaikan 2 kali lipat biaya produksi, maka

$$EScale = 1.031.815.080 / (2 \times 807.944.687) = 0.64,$$

Menunjukkan bahwa pelipat-gandaan biaya menjadi tidak mungkin dapat dipenuhi, sehingga skala produksi berada pada angka minimum atau *minimum Economic Scale*, dimana perusahaan masih menikmati skala ekonomi ketika dapat melipat gandakan output-nya dengan biaya lebih sedikit dari dua kali biaya produksi. Sebaliknya, perusahaan berada dalam skala dis-ekonomi ketika dua kali lipat output-nya membutuhkan lebih dari dua kali lipat biaya (Pindyck dan Rubinfeld, 2009).

Skala keekonomian terkecil tersebut dapat dicapai pada disain pabrik berkapasitas 40.000 Ton per tahun. Analisis Titik Impas menunjukkan bahwa kapasitas BEP hanyalah

$$BEP = 141.511.168.000 / (54.088,5 - 32.656,1) = 6.627,4 \text{ Ton/tahun.}$$

Hal tersebut dikarenakan biaya tetap industry tersebut memang jauh lebih kecil daripada biaya variabelnya. Biaya variable sangat ditentukan oleh biaya bahan baku yakni bahan kimia yang relatif mahal.

Tabel 5. Analisa Kelayakan Investasi Pendirian Industri *Starch Blend Bioplastic* TKKS Dalam Tiga Skala Industri (x Rp. 1.000.000)

DESKRIPSI	SKALA BESAR	SKALA MEDIUM	SKALA KECIL
Penjelasan	Output penjualan 100% Harga 45% dari pasar		
Investasi	Rp. 3.624.697,95	Rp. 2.625.672,67	Rp. 1.024.027,49
Pinjaman	Rp. 714.790,44	Rp. 517.782,65	Rp. 201.938,22
Ekuitas	Rp. 2.537.288,57	Rp. 2.100.538,14	Rp. 819.221,99
Proporsi Pembiayaan Hutang	19.72%	19.72%	19.72%
Proporsi Pembiayaan Modal	80.28%	80.28%	80.28%
<i>Net Profit Margin</i>	18.20%	18,0%	17,6%
<i>ROI</i>	18.40%	14,9%	10,7%
<i>NPV</i>	Rp. 3.779.421,34	Rp. 3.527.943,23	Rp. 1.011.113,29
<i>IRR</i>	23,89%	28,75%	24,70%
<i>Payback Periode</i>	4 thn 8 bln	3 th 11 bln	4 th 4 bln
Kesimpulan	LAYAK	LAYAK	LAYAK

4. KESIMPULAN

Tandan kosong kelapa sawit hasil pengolahan pabrik kelapa sawit di Indonesia masih berlimpah, mencapai 56,35 juta ton per tahun. Sekalipun pemanfaatannya telah secara massif dilakukan oleh perkebunan kelapa sawit itu sendiri, namun masih terus diupayakan untuk memperoleh nilai tambah sebesar mungkin. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku produksi Bioplastik merupakan rangkaian penelitian yang terus dilakukan, salah satunya adalah *starch-cellulose blend*.

Rancangan industry bioplastik *starch cellulose blend* menggunakan bahan baku kelapa sawit menghasilkan dua pabrik yakni pabrik sellulosa dan pabrik bioplstik komposit. Kedua pabrik dirancang dalam bangunan terpisah. Pemisahan sellulosa dari TKKS menggunakan metoda kimia dengan soda, setelah dilakukan perlakuan mekanis pengecilan ukuran. Industri dirancang dalam 3 skala kapasitas produksi yakni skala besar 190,000 Ton/tahun, sedang 115,00 Ton/tahun, dan kecil 40,000 Ton.tahun.

Analisis finansial terhadap ketiga skala kapasitas produksi tersebut secara keseluruhan dinyatakan layak. Profit margin diperhitungkan minimal 17,6%. Rata-rata payback period antara 3-5 Tahun dengan IRR antara 24-49%.

Analisis terhadap nilai keekonomian menghasilkan indeks EScale 0,64 yang menunjukkan bahwa skala keekonomian telah tercapai. Skala keekonomian industry bioplastic

starch cellulose blend dari TKKS berada pada kapasitas produksi 40.000 Ton per tahun dengan pasokan bahan baku TKKS minimal 20.203 Ton/tahun. Pada skala keekonomian terkecil tersebut, BEP sebenarnya hanya 6.627,4 Ton/tahun, di mana kondisi tersebut dapat dicapai karena industri bioplastic *StarchCellulose Blend* memiliki biaya tetap yang relative lebih kecil dibandingkan biaya variabelnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H. D., Fikriyyah, A. K., & Furghoniyyah, U. (2020). Effect of chitin addition on water resistance properties of starch-based bioplastic properties. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 483. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/483/1/012021>
- Athirah, N. F., Rizal, A., Ibrahim, M. F., Zakaria, M. R., Abd-Aziz, S., Phang, L. Y., & Hassan, M. A. (2018). Pre-treatment of oil palm biomass for fermentable sugars production. *Molecules*, 23(6), 1381. <https://doi.org/10.3390/molecules23061381>
- Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik kelapa sawit Indonesia. BPS.
- D'souza, R. L., & Unnikrishnan, G. (2018). Bioplastics: A step towards sustainability. *International Journal of Current Trends in Science and Technology*, 8(5), BT 20211–BT 20219.
- Dewanti. (2018). Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81–88.
- Dumpala, R., Bhavsar, J., & Patil, C. (2020). Scale up factors with an industrial perspective. *International Journal of Universal Pharmacy and Bio Sciences*, 9(5), 1–13.
- Erwinsyah, Afriani, A., & Kardiansyah, T. (2015). Potensi dan peluang tandan kosong sawit sebagai bahan baku pulp dan kertas: Studi kasus di Indonesia. *Jurnal Selulosa*, 5(2).
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Harahap, A. F. (2022). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit milik masyarakat (Studi kasus Desa Simardona Padanglawas Utara, Sumatera Utara) [Tesis, Universitas Gadjah Mada].
- Husaini, A., Zaman, M., Chodijah, S., Hilwatullisan, & Ibrahim. (2021). Oil palm empty bunches as an alternative raw material for making bioplastics. *Atlantis Highlights in Engineering*, 7, 103–106.
- Isroi, A., Cifriadi, T., Panji, T., Wibowo, N. A., & Syamsu, K. (2017). Bioplastic production from cellulose of oil palm empty fruit bunch. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 65, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012011>

- Kementerian Perindustrian. (2020). Industri kemasan diproyeksi tumbuh ikuti perkembangan teknologi. <https://www.kemenperin.go.id>
- Khatami, K., Perez-Zabaleta, M., Owusu-Agyeman, I., & Cetecioglu, Z. (2020). Waste to bioplastics: How close are we to sustainable polyhydroxyalkanoates production? *Waste Management*, 113, 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.007>
- Kraus, L., Hopmann, C., & Gruber, D. (2020). Investigations of film thickness variations in blown film extrusion when using air guiding systems. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 37(1), 33–52. <https://doi.org/10.1177/8756087920930274>
- LIPI. (2019). Bioplastik sawit pengganti plastik konvensional. <http://lipi.go.id>
- Rahman, A., Syamsu, K., & Isroi. (2018). Biodegradability of bioplastic from oil palm empty fruit bunch. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(2), 259–264. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.259-264>
- Reinders, V. H. (2006). Industrial design methods for product integrated PEM fuel cells. NHA Annual Hydrogen Conference 2006, March 12–16.
- Trieb, T. P., Saal, D. S., Arocena, P., & Kumbhakar, S. C. (2016). Estimating economies of scale and scope with flexible technology. *Journal of Productivity Analysis*, 45(2), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s11123-015-0442-0>
- Widiastuti, E., & Marlina, A. (2020). Studi awal pembuatan nano serat selulosa alang-alang (*Imperata cylindrica* (L) Beauv) sebagai bahan pengikat komposit. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 681–686.
- World Bank. (2021). Plastic waste discharges from rivers and coastlines in Indonesia. *Marine Plastics Series*, East Asia and Pacific Region.
- Yusra, I., Fatah, A., Khalil, H. P. S. A., Hossain, M. S., Aziz, A. A., Davoudpour, Y., Dungani, R., & Bhat, A. (2014). Exploration of a chemo-mechanical technique for the isolation of nano fibrillated cellulosic fiber from oil palm empty fruit bunch as a reinforcing agent in composites materials. *Polymers*, 6(9), 2611–2625. <https://doi.org/10.3390/polym6092611>