

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis yang kaya akan hasil perkebunan yang beranekaragam. Saat ini kelapa sawit adalah hasil tanaman perkebunan terbesar di Indonesia, yang mana jumlahnya mencapai 48,3 juta ton di tahun 2020 (BPS, 2020b). Lahan kelapa sawit pun terus mengalami peningkatan dari tahun 2016 hingga 2020 mencapai total 14,9 juta hektar (BPS, 2020a). Peningkatan lahan kelapa sawit ini sebagai dampak dari kebutuhan minyak kelapa sawit (*CPO/crude palm oil*) yang menjadi bahan baku biodiesel atau *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Energi terbarukan berupa biodiesel dari CPO sangat potensial sehingga terus ditingkatkan produktivitasnya. Produktivitas ini terlihat dari kapasitas produksi CPO mencapai 38.320 ton per jam dari 791 pabrik kelapa sawit yang tersebar di seluruh Indonesia (PTPN, 2019). Banyaknya jumlah pabrik yang mengolah kelapa sawit ini juga akan menimbulkan sejumlah limbah. Salah satu limbahnya adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang jumlahnya cukup besar yaitu rata-rata 6,7 juta ton per tahun. Jumlah limbah TKKS ini lebih besar jika dibandingkan limbah kelapa sawit lainnya seperti batang, pelepah, cangkang dan serat buah (Yanti dan Hutasuhut, 2020).

Upaya untuk mengurangi jumlah limbah TKKS telah banyak dilakukan. Beberapa contoh diantaranya sebagai bahan baku pembuatan kompos, kertas karbon, arang briket, hingga material tekstil (Destyorini dan Indayaningsih, 2019; Jaya dkk., 2015; Susanto dan Yanto, 2013; Wardani dan Widiawati, 2014). Adapun upaya lainnya yaitu sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Kebutuhan akan karbon aktif di Indonesia sendiri cukup tinggi yakni mencapai 300 ribu ton per tahunnya (Lutfi dkk., 2021), dan kebutuhan ini dipenuhi lewat kegiatan impor karbon aktif sebanyak 11,8 ribu ton di tahun 2018 (Winata dkk., 2021). Tingginya kebutuhan akan karbon aktif ini tidak lain karena kemampuan adsorpsinya, menjadikan karbon aktif dapat diaplikasikan di berbagai industri seperti kimia, farmasi, pengolahan air, makanan, dan minuman. Komponen lignin yang cukup tinggi, yakni sekitar 22,66% (Aini dkk., 2018), dibandingkan limbah biomassa lainnya yang sebelumnya telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif, seperti yang dapat dilihat Tabel I.1.

Tabel I.1 Kandungan Lignin dari Biomassa

Biomassa	Lignin (%)	Ref.
Jerami	12-14	(Reddy dan Yang, 2005)
Tongkol jagung	7-21	(Reddy dan Yang, 2005)
Ampas tebu	20,3	(Kim dan Day, 2011)
Tandan kosong kelapa sawit	22,66	(Aini dkk., 2018)

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan, tingginya *yield char* yang dihasilkan dari limbah biomassa disebabkan oleh tingginya komponen lignin dibandingkan komponen lainnya seperti selulosa maupun hemiselulosa. Lignin dapat terurai perlahan-lahan selama proses pirolisis, ini disebabkan lignin memiliki ketahanan yang tinggi terhadap degradasi termal (Di Blasi, 2009; Haykiri-Acma dkk., 2010). Dengan demikian TKKS berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Adapun pula dengan dirancangnya pabrik karbon aktif dari TKKS ini, diharapkan mampu mengurangi jumlah limbah TKKS, memenuhi kebutuhan pasar, dan mengurangi impor.

I.2 Karakteristik Bahan Baku

Karakteristik dari bahan baku yang digunakan dalam proses produksi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan proses aktivasi FeCl_3 diuraikan sebagai berikut.

I.2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan salah satu limbah yang dihasilkan selama produksi minyak kelapa sawit. TKKS yang diperoleh dari Provinsi Riau memiliki beberapa karakteristik atau sifat fisik seperti yang tertera pada Tabel I.2. Ada sekitar 21% limbah TKKS yang dihasilkan dari setiap 1 ton tandan buah segar (TBS) yang digunakan (BPDP, 2018).

Tabel I.2 Sifat Fisik TKKS (Eka, 2000)

Parameter	TKKS Bagian Pangkal	TKKS Bagian Ujung
Panjang serat		
Minimum (mm)	0,63	0,46
Maksimum (mm)	1,81	0,27
Rata-rata (mm)	1,2	0,76
Diameter serat (μm)	15,01	14,34
Diameter lumen	8,04	6,99
Tebal dinding	3,49	3,68
Bilangan Runkel	0,87	1,05
Kelangsingan	79,95	53
Kelemasan	0,54	0,49
Kadar serat	72,67	62,47
Bukan serat (%)	27,33	37,53
Rapat massa (kg/m^3)	1465,3	



Gambar I.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

TKKS memiliki komposisi beberapa polimer diantaranya seperti, selulosa, hemiselulosa, dan lignin serta komposisi lainnya seperti pada Tabel I.3. Tingginya kandungan karbon yang dimiliki, menyebabkan TKKS adalah bahan utama yang sesuai untuk pembuatan karbon aktif.

Tabel I.3 Komposisi TKKS (Aini dkk., 2018)

Komposisi	Massa (%)
Selulosa	29,37
Hemiselulosa	14,4
Lignin	22,66
Air	32,05
Abu	1,52

I.2.2 Besi (III) Klorida

Besi (III) klorida atau FeCl_3 merupakan senyawa kovalen yang akan digunakan sebagai agen aktivasi pada pembuatan karbon aktif. FeCl_3 adalah agen aktivasi yang bersifat netral. Dengan reaksi reduksi antara atom-atom karbon yang ada pada bahan baku dan ion positif yang teroksidasi dari agen aktivasi, mengeliminasi atom karbon dan menghasilkan pori (Gao dkk., 2020). Sifat kimia dan fisika dari FeCl_3 tertera pada Tabel I.4 berikut.

Tabel I.4 Sifat Fisika dan Kimia $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Anonim, 2010)

Sifat	Keterangan
Rumus molekul	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Berat molekul	270,33
Bentuk	Padat
Warna	Kuning-coklat
Bau	Tidak berbau
Titik didih	280-285°C/536-545°F
Titik lebur	37°C/98,6°F
<i>Specific gravity</i>	1,82
Kelarutan dalam air	Larut

I.2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah material berpori berasal dari material yang mengandung karbon, diaktifkan secara fisika atau kimia untuk memperbesar luas permukaan material yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Beberapa karbon aktif dari berbagai bahan baku telah dibuat dan memiliki karakteristiknya masing-masing, tergantung dari bahan serta proses aktivasinya. Secara umum karakteristik dari karbon aktif tertera pada Tabel I.5.

Tabel I.5 Karakteristik Karbon Aktif (Ismadji dkk., 2021)

Karakteristik	Keterangan
---------------	------------

Luas permukaan spesifik (BET)	400–1600 m ² /g
Total porositas	0,3–0,75
Volume mikropori	0,2–0,5 cm ³ /g
Volume mesopori	0,2–0,4 cm ³ /g
Ukuran mikropori	4–20 angstrom
Ukuran mesopori	20–500 angstrom
Densitas partikel	0,6–0,8 g/cm ³

I.3 Kegunaan dan Keunggulan Produk

Produk karbon aktif yang dihasilkan pada pabrik ini memiliki banyak manfaat pada berbagai industri (Marsh dan Rodríguez-Reinoso, 2006) sebagai berikut:

1. Pada industri kimia, digunakan untuk menghasilkan gas murni dengan mengurangi polutan yang ada dalam gas.
2. Pada pengolahan air/*water treatment*, digunakan untuk mengurangi polutan organik seperti NOM, komponen organik sintetis, dan produk samping hasil dari *chemical water treatment*.
3. Pada industri makanan dan minuman, digunakan untuk menghilangkan warna dan bau dari produk.
4. Pada industri kimia dan farmasi, digunakan untuk mengurangi impurities, menghilangkan komponen beracun.

Keunggulan dari produk karbon aktif yang dihasilkan pada pabrik ini adalah menggunakan bahan baku tandan kosong kelapa sawit. Indonesia yang merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia tentunya menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit yang jumlahnya cukup besar pula. Sehingga ketersediaan bahan baku cukup besar dan mudah didapatkan. Selain itu, membantu mengurangi jumlah limbah tandan kosong kelapa sawit yang ada.

I.4 Ketersediaan Bahan Baku dan Analisa Pasar

Ketersediaan bahan baku TKKS dan analisa pasar dari karbon aktif di Indonesia.

I.4.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku TKKS merupakan limbah dari TBS yang telah diolah dan dapat diperoleh di pabrik kelapa sawit yang ada. TBS ini diperoleh dari perkebunan kelapa sawit yang tersebar di berbagai daerah di Indonesia. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Indonesia, produsen kelapa sawit terbesar di Indonesia berasal dari provinsi Riau yaitu sebesar 7,59 juta ton pada tahun 2017 dan 7,14 juta ton pada tahun 2018 (BPS, 2018). Berdasarkan Dinas Perkebunan Provinsi Riau pada tahun 2019, terjadi kenaikan total produksi kelapa sawit yang cukup besar, yakni 7,73 juta ton (Riau, 2020).

Ketersediaan bahan baku TKKS dapat diperoleh dengan mengambil limbah yang dihasilkan oleh pabrik-pabrik kelapa sawit yang ada di provinsi Riau. Data berbagai pabrik kelapa sawit di provinsi Riau beserta kapasitas produksinya tertera pada Tabel I.6 berikut. Dengan mengacu bahwa setiap 1 ton TBS yang digunakan menghasilkan limbah TKKS sebanyak 21%. Masing-masing pabrik kelapa sawit dengan kapasitas produksi tertentu menghasilkan sekian jumlah limbah TKKS.

Tabel I.6 Pabrik Kelapa Sawit di Provinsi Riau (Riau, 2020)

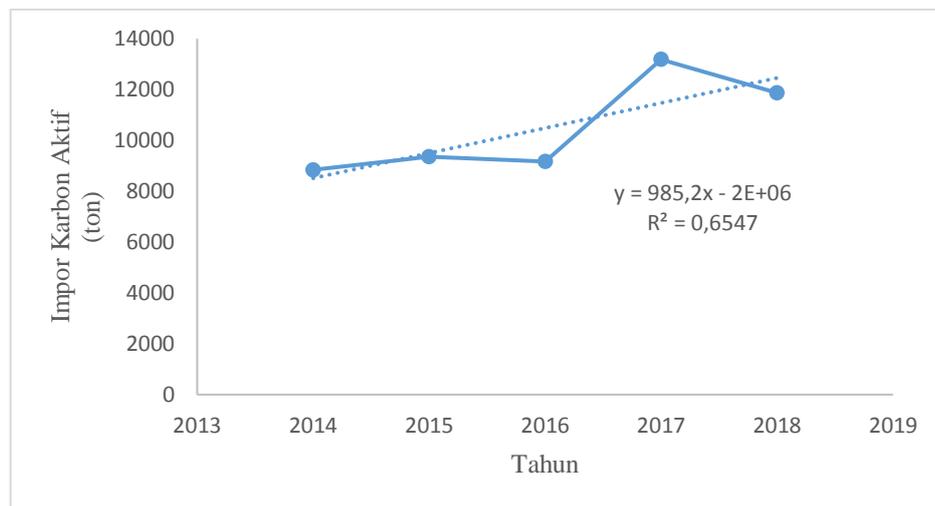
Nama Pabrik	Kapasitas Produksi (ton/jam)	Limbah TKKS (ton/jam)
PT. Sawit Anugerah Sejahtera	45	9,45
PT. Hijau Lingkungan Sawit Indah	90	18,9
PT. Sawit Inti Raya	45	9,45
PT. Multi Palma Sejahtera	45	9,45
PT. Sawit Riau Makmur	30	6,3

I.4.2 Impor Karbon Aktif

Kebutuhan karbon aktif di Indonesia sebagian terpenuhi dengan cara mengimpor. Data impor karbon aktif dari tahun 2014–2018 menurut Badan Pusat Statistik tertera pada Tabel I.7 berikut.

Tabel I.7 Impor Karbon Aktif di Indonesia Tahun 2014-2018

Tahun	Jumlah (ton)
2014	8.842,249
2015	9.366,417
2016	9.176,328
2017	13.181,209
2018	11.860,851



Gambar I.2 Impor Karbon Aktif Indonesia Tahun 2014-2018

Dari grafik di atas, diketahui adanya tren peningkatan jumlah impor karbon aktif. Dengan melihat kebutuhan karbon aktif pada industri kimia, farmasi, pengolahan air, makanan dan minuman, maka kebutuhan impor karbon aktif pada tahun 2025 diperkirakan sebesar 20.000 ton.

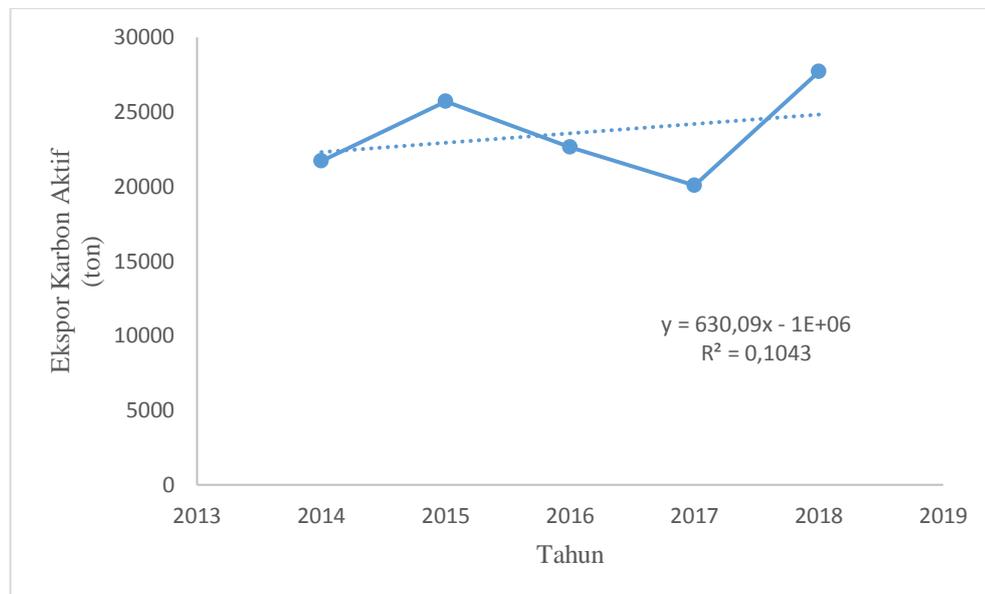
I.4.3 Ekspor Karbon Aktif

Selain mengimpor, Indonesia juga mengekspor hasil produksi karbon aktifnya. Data ekspor karbon aktif di Indonesia dari tahun 2014–2018 menurut Badan Pusat Statistik tertera pada Tabel I.8 berikut.

Tabel I.8 Ekspor Karbon Aktif di Indonesia Tahun 2014-2018

Tahun	Jumlah (ton)
2014	21.723,887
2015	25.712,89
2016	22.633,912
2017	20.076,23
2018	27.692,653

Berdasarkan Tabel I.8 di atas, data ekspor karbon aktif di Indonesia dari tahun 2014–2018, disajikan pada Gambar I.3 berikut.



Gambar I.3 Ekspor Karbon Aktif Indonesia Tahun 2014-2018

Dari grafik pada Gambar I.3 di atas, diperoleh hubungan antara tahun dan jumlah ekspor karbon aktif yang dinyatakan dengan persamaan linear berikut:

$$y = 630,09x - 1 \times 10^6$$

Karena persamaan linear yang dihasilkan memiliki nilai koefisien determinasi atau R^2 sangat kecil sebesar 0,1043, maka diasumsikan data ekspor karbon aktif pada tahun 2025 sebesar 35 ribu ton/tahun.

I.4.4 Konsumsi Karbon Aktif

Di Indonesia, karbon aktif banyak digunakan di berbagai sektor industri. Menurut Lutfi, dkk., konsumsi karbon aktif di Indonesia pada saat ini telah mencapai 300.000 ton per tahun. Beberapa industri pengguna karbon aktif seperti perusahaan minyak kelapa sawit, minuman, dan lainnya tertera pada Tabel I.9 berikut.

Tabel I.9 Industri Pengguna Karbon Aktif (AdyWater, 2016)

Perusahaan	Bidang perusahaan
PT. Karya Sawitindo Mas	CPO (Crude Palm Oil)
PT. Astra International, Tbk.	Otomotif
PT. Sidomuncul	Jamu dan obat herbal
PT. Mega Tirta Alami	Air Minum
PT Garuda Food Putra Putri Jaya	Makanan dan Minuman

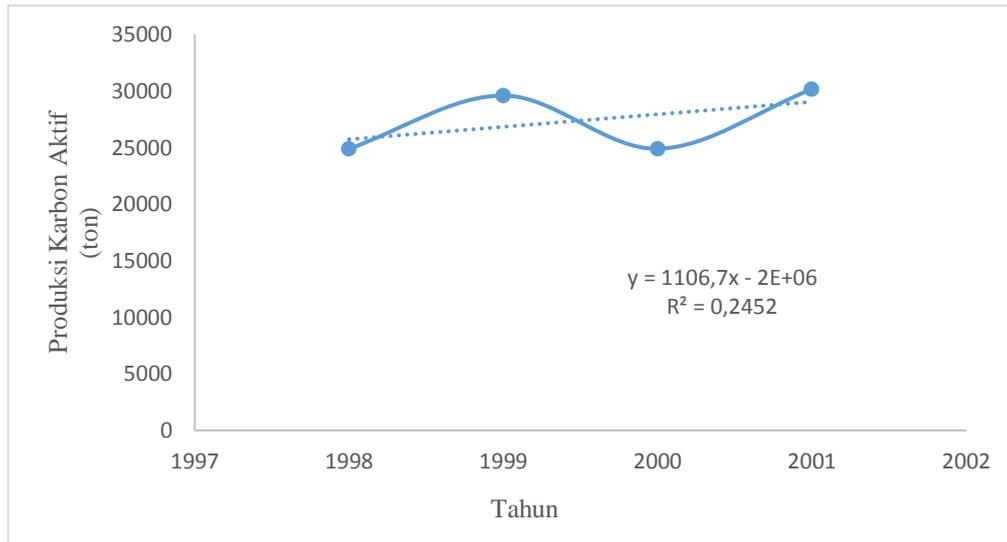
I.4.5 Produksi Karbon Aktif

Indonesia juga aktif memproduksi karbon aktif. Data produksi karbon aktif di Indonesia tahun 1998–2001 tertera pada Tabel I.10. Di tahun 2001, produksi karbon aktif di Indonesia mencapai 30.161 ton/tahun. Dengan melihat besarnya penggunaan pada berbagai sektor Industri, maka produksi karbon aktif di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya.

Tabel I.10 Produksi Karbon Aktif di Indonesia Tahun 1998– 2001

Tahun	Jumlah (ton)
1998	24.903
1999	29.610
2000	24.903
2001	30.161

Berdasarkan Tabel I.10 di atas, data produksi karbon aktif di Indonesia dari tahun 1998–2001, disajikan pada gambar 1.4 berikut.



Gambar I.4 Produksi Karbon Aktif Indonesia Tahun 1998-2001

Dari grafik pada Gambar I.4 di atas, diperoleh hubungan antara tahun dan jumlah produksi karbon aktif yang dinyatakan dengan persamaan linear berikut:

$$y = 1106,7x - 2 \times 10^6$$

Karena persamaan linear yang dihasilkan memiliki nilai koefisien determinasi atau R^2 sangat kecil sebesar 0,2452, maka diasumsikan data produksi karbon aktif pada tahun 2025 sebesar 66 ribu ton/tahun.

I.4.6 Perhitungan Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi pabrik karbon aktif dari limbah TKKS yang akan didirikan pada tahun 2025 adalah sebagai berikut:

Prediksi data karbon aktif untuk tahun 2025:

Impor = 20.000 ton

Ekspor = 35.000 ton

Konsumsi = 300.000 ton

Produksi = 66.000 ton

Kebutuhan pasar + Impor = Ekspor + Konsumsi

Kebutuhan pasar = (Ekspor + Konsumsi) – Impor

Kebutuhan pasar = (35.000 + 300.000 ton) – 20.000 ton

Kebutuhan pasar = 315.000 ton

Kekosongan pasar = Kebutuhan Pasar – Produksi

Kekosongan pasar karbon aktif tahun 2025 = 315.000ton – 66.000 ton
= 249.000 ton

Dalam menentukan kapasitas produksi, dicari referensi mengenai kapasitas produksi pabrik karbon aktif di dunia pada saat ini. Data produksi tahunan yang berhasil ditemukan dari beberapa pabrik dapat dilihat pada Tabel I.11 berikut.

Tabel I.11 Produksi Tahunan Pabrik Karbon Aktif di Dunia

Nama Perusahaan	Asal	Kapasitas (ton/tahun)	Sumber
Indo German Carbons Ltd.	India	6.000	igcl.com
Hanyan	Cina	30.000	hanyanwoodac.com
Zhengzhou Kelin Water Purification Material Co., Ltd	Cina	8.000–10.000	kelincarbon.com
Haycarb Palu Mitra	Indonesia	3.600	haycarb.com
Malapus Makawanua Charcoal Industry	Indonesia	6.500	haycarb.com

Berdasarkan Tabel I.11 di atas, kapasitas produksi pabrik karbon aktif di dunia berkisar antara 3.600–30.000 ton/tahun. Dengan mengambil rata-rata dari data pada tabel tersebut, dapat ditentukan kapasitas produksi karbon aktif dari TKKS sebesar 12.000 ton/tahun. Dengan demikian kapasitas produksi ini dapat mengisi 5% dari kekosongan pasar karbon aktif pada tahun 2025.