



**NERACA MASSA PADA PRARANCANGAN PABRIK KARBON AKTIF
DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 12.000
TON/TAHUN**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Jurusan Teknik Kimia**

Oleh

Elisa Friskila Simatupang

NIM. 5213416034

TEKNIK KIMIA

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Elisa Friskila Simatupang
NIM : 5213416034
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Neraca Massa pada Prarancangan Pabrik Karbon Aktif Dari
Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Kapasitas 12.000
Ton/Tahun

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 17 September 2020

Pembimbing



Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.

NIP. 197405191999032001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Neraca Massa Pada Prarancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kapasitas 12.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan di depan Sidang Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada 25 September 2020.

Oleh

Nama : Elisa Friskila Simatupang
NIM : 5213416034
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia:

Ketua



Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Sekretaris



Dr. Megawati S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Pembimbing



Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Penguji I



Dr. Megawati S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji II



Ria Wulansarie, S.T., M.T.
NIP. 199001272015042001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES




Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 17 September 2020

Yang membuat pernyataan,

Penulis



Elisa Friskila Simatupang

NIM. 5213416034

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“segala perkara dapat ku tanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku”

(Filipi 4:13)

“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang”

(Amsal 23:18)

PERSEMBAHAN

1. Tuhan YME
2. Kedua Orang Tua
3. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2016
5. YATR

ABSTRAK

NERACA MASSA PADA PRARANCANGAN PABRIK KARBON AKTIF DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Elisa Friskila Simatupang

Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T

Kebutuhan karbon aktif di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun sehingga diperlukan pendirian karbon aktif dengan kapasitas 12.000 ton/tahun. Pabrik karbon aktif ini menggunakan TKKS sebagai bahan baku dengan aktivator NaOH. Proses pembuatan karbon aktif ini menggunakan proses *slow pyrolysis*, berupa karbonisasi lignoselulosa pada TKKS dengan produk utama karbon yang akan diaktivasi menggunakan NaOH di reaktor *rotary kiln*. Lokasi pabrik karbon aktif berada di daerah kawasan industri Tanjung Buton, Kabupaten Siak, Riau. Pabrik ini direncanakan akan beroperasi selama 24 jam selama 330 hari per tahun. Aliran neraca massa pada pabrik karbon aktif ini setimbang antara aliran massa masuk sama dengan aliran massa produk yang keluar. Secara keseluruhan, *input* bahan baku yang dibutuhkan adalah TKKS sebesar 52.264.808,36 kg/tahun, NaOH sebesar 21.492.892,42 kg/tahun, HCL sebesar 60.062.559,15 kg/tahun untuk menghasilkan karbon aktif sebanyak 12.000 ton/tahun

Kata Kunci: karbon aktif, aktivasi, neraca massa.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “*Neraca Massa pada Pra-Rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kapasitas 12.000 Ton/Tahun*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Program Studi Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, MT., IPM, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan pengarahan dalam menyusun skripsi.
4. Dr. Megawati, S.T., M.T., dan Ria Wulansarie, S.T.,M.T., selaku dosen penguji I dan II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas skripsi ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Orang tua penulis yang seelalu mendoakan.

Penulis berharap semoga skripsi Perancangan Pabrik Kimia ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Semarang, 17 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Perumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Karbon Aktif.....	6
2.2 Kegunaan Karbon Aktif	8
2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	10
2.4 Metode pembuatan Karbon Aktif.....	12
2.4.1 Metode Pirolisis	12
2.4.2 Metode Aktivasi.....	14
2.4.3 Mekanisme Reaksi	16
2.5 Tinjauan Termodinamika	17
2.6 Tinjauan Kinetika	20
2.7 Neraca Massa	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Prosedur Kerja.....	23
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25

4.1	Neraca Massa <i>Pyrolysis Reactor</i> (R-01)	25
4.2	Neraca Massa Condenser	26
4.3	Neraca Massa di Mixer 02.....	27
4.4	Neraca Massa di Mixer 03.....	28
4.5	Neraca Massa Rotary Kiln (RK)	29
4.6	Neraca Massa Grate Cooler.....	29
4.7	Neraca Massa Mixer 01	30
4.8	Neraca Massa Washer	31
4.9	Neraca Massa Filter	32
4.10	Neraca Massa Dryer	32
4.11	Neraca Massa Rotary Cooler.....	33
BAB V.....		34
PENUTUP.....		34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN.....		43

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Kandungan Lignoselulosa TKKS, Sekam padi dan Tongkol Jagung.....	2
Tabel 2.1 Aplikasi Karbon Aktif dalam Beberapa Industri	8
Tabel 2.2 Daftar Perusahaan Pengguna Karbon Aktif di Indonesia	9
Tabel 2.3 Data Kandungan Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit	11
Tabel 2.4 Perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Siak.....	12
Tabel 2.5 Perbandingan Kondisi Operasi dan Variasi Proses Pirolisis.....	13
Tabel 2.6 Perbandingan Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia.....	15
Tabel 2.7 Komponen persamaan reaksi Pirolisis	17
Tabel 2.8 Data ΔHR masing-masing komponen pada reaksi karbonisasi	18
Tabel 2.9 Data ΔHR masing-masing komponen pada reaksi aktivasi	18
Tabel 4. 1 Komposisi TKKS (Kg)	25
Tabel 4. 2 Neraca Massa <i>Pyrolysis Reactor</i>	26
Tabel 4. 3 Neraca Massa <i>Condenser</i>	27
Tabel 4. 4 Neraca Massa Komponen Mixer 02.....	28
Tabel 4. 5 Neraca Massa Komponen <i>Mixer</i> 03.....	28
Tabel 4. 6 Neraca Massa <i>Rotary Kiln</i>	29
Tabel 4. 7 Neraca Massa <i>Grate Cooler</i>	30
Tabel 4. 8 Neraca Massa <i>Mixer</i>	30
Tabel 4. 9 Neraca Massa <i>Washer</i>	31
Tabel 4. 10 Neraca Massa <i>Filter</i>	32
Tabel 4. 11 Neraca Massa Komponen <i>dryer</i>	33
Tabel 4. 12 Neraca Massa <i>Cooler</i>	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur pori Karbon aktif	7
Gambar 2.2 Struktur karbon aktif	7
Gambar 2.3 Pengolahan biomassa secara konversi termokimia dalam industri	13
Gambar 2.4 Flow diagram proses pirolisis lambat	13
Gambar 4. 1 Neraca Massa <i>Pyrolysis Reactor</i>	25
Gambar 4. 2 Neraca Massa <i>Condenser</i>	26
Gambar 4. 3 Neraca Massa di <i>Mixer</i>	27
Gambar 4. 4 Neraca Massa di <i>Mixer 03</i>	28
Gambar 4. 5 Neraca Massa <i>Rotary Kiln</i>	29
Gambar 4. 6 Neraca Massa <i>Grate Cooler</i>	29
Gambar 4. 7 Neraca Massa <i>Mixer 01</i>	30
Gambar 4. 8 Neraca Massa di <i>Washer</i>	31
Gambar 4. 9 Neraca Massa <i>Filter</i>	32
Gambar 4. 10 Neraca Massa di <i>Dryer</i>	32
Gambar 4. 11 Neraca Massa <i>Rotary Cooler</i>	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Industri di Indonesia, seperti industri makanan, farmasi, minuman, gas alam, dan tekstil dewasa ini semakin berkembang. Perkembangan ini memberikan dampak positif dalam perkembangan pertumbuhan ekonomi dan juga peningkatan kesejahteraan masyarakat tetapi juga memberikan efek samping pencemaran yang merugikan masyarakat. Penurunan kualitas air, bau tidak sedap pada industri obat dan makanan, gas berbahaya, serta kontaminasi zat warna dalam limbah cair dapat menurunkan kualitas hidup masyarakat sehingga dibutuhkan upaya dalam penanggulangan masalah tersebut. Salah satu cara adalah metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Metode adsorpsi tidak memberikan efek samping yang berbahaya bagi kesehatan, peralatan yang digunakan sederhana dan juga murah, dapat di daur ulang, efisien serta ekonomis (Zein et al., 2019). Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif.

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang memiliki kandungan karbon sebesar 85-95%, dibuat dengan bahan yang mengandung karbon menggunakan pemanasan pada suhu tinggi (Nurullita 2016). Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar, volume pori yang besar, kapasitas adsorpsi yang tinggi, murah, sederhana, dan mudah diaplikasikan (Mahmoodi et al., 2018). Luas permukaan dan pori karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/g (Pallarés et al., 2018) Selain itu, karbon aktif yang berbahan dasar limbah biomassa memiliki kelebihan harga yang murah serta ramah lingkungan (Haura et al., 2017), mudah didapat (Sunarsih et al., 2016), serta dapat diperbarui (Surest et al., 2010). Karbon aktif juga dapat digunakan untuk aplikasi lainnya diluar penghilangan polutan, misalnya untuk penyimpanan gas hidrogen dan metana (Arami et al., 2012), pemurnian cairan dan gas (Azis et al., 2016), pemisahan campuran (Liang et al., 2017), dan sebagai pengemban katalis logam karena mempunyai luas permukaan yang besar dengan aktivitas katalitik intrinsiknya yang rendah (Tsoncheva et al., 2017).

Karbon aktif dibuat dari bahan yang mengandung karbon atau lignoselulosa dengan jumlah presentase kandungan inorganik rendah (Arena et al., 2016). Beberapa biomassa dapat dibuat sebagai karbon aktif antara lain cangkang buah karet (Arifin et al., 2018), kulit jeruk keprok (Erprihana & Hartanto, 2014), kulit pisang kapok (Wardani and Viena, 2018), ampas teh, tempurung kelapa (Jamilatun et al., 2015), tongkol jagung (Amin et al., 2016), kulit salak (Utama and Kristianto, 2016), sekam padi (Dwidiani et al., 2018), serta TKKS (Taer et al., 2016).

Berdasarkan data yang dikeluarkan Badan Pusat Statistik pada 2019, produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 36,6 juta ton. Laju produksi kelapa sawit yang tinggi ini mengakibatkan pabrik kelapa sawit memiliki banyak limbah, baik dalam bentuk cair maupun padat. Jumlah limbah padat TKKS mencapai 25-26% dari total produksi kelapa sawit (Dewanti, 2018). TKKS berpotensi untuk dijadikan sebagai prekursor karbon aktif dengan yield sebesar 22,96 % dengan menggunakan aktivator NaOH. Hal ini karena TKKS memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi yaitu 99% seperti pada Tabel 1.1 (Rachmani et al., 2014). Tingginya kandungan lignoselulosa dan ketersediannya yang melimpah ini menjadikan TKKS berpotensi dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.

Tabel 1. 1 Kandungan Lignoselulosa TKKS, Sekam padi dan Tongkol Jagung

Kandungan	TKKS ^(a)	Ampas Tebu ^(b)	Tongkol Jagung ^(c)
Lignin (%)	18,10	16,40	16,00
Selulosa (%)	59,70	35,01	40,00
Hemiselulosa (%)	22,10	25,24	36,00
Lain-lain (%)	0,10	23,35	8,00

(Rachmani et al., 2014), ^(a), (Hidayat & Sutrisno, 2016)^(b), (Jhon et al., 2015)^(c)

Seiring dengan manfaat karbon aktif yang cukup banyak di industri, maka kebutuhan karbon aktif akan semakin meningkat. Berdasarkan data kebutuhan impor karbon aktif Indonesia pada tahun 2016-2018 berturut-turut sebanyak 9.176 ton per tahun, 13.181 ton per tahun dan 11.860 ton per tahun (Badan Pusat Statistik, 2019). Data tersebut meunjukkan bahwa Indonesia masih membutuhkan karbon aktif ditinjau dari data impornya yang masih tinggi pada 3 tahun terakhir.

Pembuatan karbon aktif memiliki dua tahap utama, yaitu karbonisasi dan dilanjutkan dengan aktivasi. Karbonisasi adalah proses pengarang yang terjadi di dalam ruangan tanpa adanya oksigen dan bahan kimia. Aktivasi merupakan suatu perlakuan pada arang yang bertujuan untuk membuka atau memperbesar pori dengan menghilangkan kandungan bahan *volatile* dan tar dari hasil karbonisasi (Wulandari et al., 2015). Karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi masih memiliki ukuran pori yang kecil, sehingga harus ada perlakuan lebih lanjut. (Pallarés et al., 2018).

Proses aktivasi terdiri dari dua jenis yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Pallarés et al., 2018). Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan mencampur karbon aktif dengan aktivator. Aktivator yang dapat digunakan adalah CaCl_2 , H_3PO_4 , K_2CO_3 , ZnCl_2 , NaOH , KOH , HNO_3 , H_3PO_4 , H_2SO_4 , dan HCl (Sahira et al., 2013). Aktivator NaOH memiliki kelebihan dibandingkan dengan aktivator H_2SO_4 , HNO_3 , K_2CO_3 , dan ZnCl_2 dimana aktivasi dengan menggunakan NaOH menghasilkan persen kehilangan massa setelah proses aktivasi yang tidak terlalu besar yaitu 19.4% selama 60 menit. Sedangkan persen kehilangan massa selama 60 menit pada aktivator H_2SO_4 sebesar 74.20%, HNO_3 sebesar 61.78%, K_2CO_3 sebesar 28.63%, dan ZnCl_2 sebesar 22.3% (Rachmani et al., 2014). Hal tersebut menandakan bahwa tidak terjadi reaksi yang berlebihan selama proses aktivasi, hal ini dapat merusak struktur pori pada karbon aktif dan dapat menyebabkan pori-pori yang terbentuk terlalu besar, sehingga luas permukaan yang dihasilkan terlalu rendah. Aktivasi dengan menggunakan aktivator NaOH juga menghasilkan *yield* karbon aktif TKKS yang lebih besar yaitu sebesar 22,96% dibandingkan dengan aktivator ZnCl_2 sebesar 10,54% dan K_2CO_3 sebesar 12,93% (Rachmani et al., 2014). Aktivasi dengan menggunakan NaOH memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan KOH yang masih diproduksi di negara China (Alibaba, 2020). Oleh karena itu, pada perancangan ini menggunakan NaOH sebagai aktivatornya.

Pada proses pembuatan karbon aktif, bahan baku karbon keluaran auger pirolisis dan aktivator dimasukkan bersama-sama kedalam reaktor *rotary kiln*. Salah satu kondisi yang perlu diperhatikan selama proses pembuatan karbon aktif ini adalah aliran massa yang terjadi selama proses berlangsung. apabila terjadi ketidaksesuaian

antara bahan baku masuk dengan produk yang keluar maka kualitas dan spesifikasi produk karbon aktif yang dihasilkan dapat berbeda. Kapasitas karbon aktif juga dapat menyimpang dari yang telah direncanakan sebelumnya, oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan neraca massa pada alat proses guna menghindari hal-hal yang tidak diinginkan tersebut.

Pendirian pabrik karbon aktif di Indonesia ini akan memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi biaya impor karbon aktif. Selain itu, juga menambah nilai guna dari TKKS untuk diolah menjadi bahan yang lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya perhitungan aliran neraca massa untuk bahan baku yang masuk ke dalam proses hingga menjadi produk karbon aktif.
2. Perlu diketahui kesetimbangan aliran massa pada setiap alat proses.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah perlu dilakukan pada penelitian ini agar pokok permasalahan tidak melebar dan inti permasalahan dapat dikaji secara mendalam. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca massa hanya dihitung pada peralatan utama pabrik karbon aktif.
2. Perhitungan neraca massa hanya dilakukan pada prarancangan pabrik karbon aktif dengan kapasitas 12.000 ton/tahun.

1.4 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh neraca massa pada alat utama pabrik karbon aktif terhadap proses produksi pabrik?
2. Bagaimana pengaruh neraca massa *overall* terhadap hasil produksi pabrik?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh neraca massa pada alat utama pabrik karbon aktif terhadap proses produksi.
2. Mengetahui pengaruh neraca massa *overall* terhadap hasil produksi pabrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

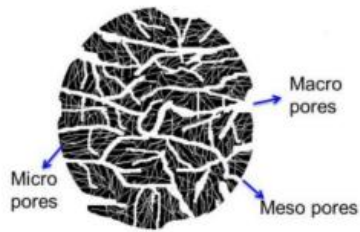
Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang sangat bagus dan paling sering digunakan dalam industri karena memiliki luas permukaan dan volume mikropori sangat besar dan mudah di regenerasi. Dengan demikian daya adsorpsi menjadi lebih tinggi terhadap zat warna dan bau (Maulinda et al., 2015). Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif (Yan et al., 2016). Karbon aktif memiliki luas permukaan antara 300-3500 m²/g serta tersusun oleh atom C yang terikat kovalen dalam kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya (Jamilatun et al., 2015). Karbon aktif mengandung karbon sebanyak 85-95%. Karbon aktif memiliki daya serap yang besar yaitu 25-1000% (Hidayati et al., 2016). Karbon aktif dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung sumber karbon seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pektin (Mulyati et al., 2017).

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam dasar yang mengandung karbon misalnya tulang, kayu, sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, dan batubara (Surest et al., 2010). Bahan dasar yang digunakan memberikan pengaruh terhadap struktur permukaan dari karbon aktif. Ada tiga kriteria bahan dasar yang dibuat sebagai karbon aktif, yaitu :

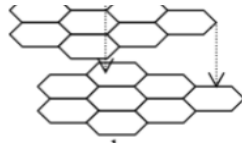
- a. bahan dasar harus mengandung karbon
- b. pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin
- c. bahan dasar harus memiliki kualitas yang sama

Bahan baku karbon aktif harus memenuhi syarat dan standar kualitas yang telah ditetapkan oleh SNI 1995, dan TKKS memenuhi syarat tersebut karena memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, yaitu kandungan lignin 18,10% selulosa 59,70% dan hemiselulosa 22,10% yang lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan yang dimiliki ampas tebu dan tongkol jagung.

Karbon aktif memiliki struktur pori dan struktur fisika seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2



Gambar 2.1 Struktur pori Karbon aktif



Gambar 2.2 Struktur karbon aktif (Imammuddin et al., 2018)

Terdapat 3 jenis pori-pori karbon aktif, yaitu:

- a. Mikropori dengan ukuran di bawah 2 nm.
- b. Mesopor dengan ukuran 2-50 nm.
- c. Makropori dengan ukuran di atas 50 nm.

(Ilomuanya et al., 2017).

Berdasarkan ukurannya, karbon aktif dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Karbon aktif serbuk

Ukuran partikel dari karbon aktif serbuk bernilai di bawah 100 μm dengan diameter antara 15-25 μm . Karena ukurannya yang sangat halus karbon aktif serbuk ini sangat mudah terbang, sehingga biasanya dicampur dengan air sekitar 30-50%. Karbon aktif ini biasanya digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna, dan kontaminan organik lainnya.

- b. Karbon aktif granula

Karbon aktif ini berbentuk butiran atau kepingan (*flake*) dengan ukuran partikel lebih besar dari karbon aktif serbuk dan sering digunakan pada industri (Gamal et al., 2018). Karbon aktif dalam bentuk ini dapat digunakan pada pengolahan limbah cair maupun gas.

Spesifikasi karbon aktif berdasarkan SNI adalah sebagai berikut:

Warna	: hitam
Ukuran partikel	: 90 mesh
Densitas	: 0,30 – 0.35 g/mL
Ash content	: 10%
Water content	: 15%
Kemurnian	: 65%

(SNI , 1995)

2.2 Kegunaan Karbon Aktif

Industri pengguna karbon aktif pada umumnya menggunakan karbon aktif sebagai adsorben dalam bentuk granul ataupun serbuk. Aplikasi karbon aktif di industri ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Aplikasi Karbon Aktif dalam Beberapa Industri

No.	Industri	Kegunaan
1	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah
2	Industri Pengolahan Air Minum	menghilangkan bau, warna, rasa tidak enak, gas-gas beracun, zat pencemar air dan sebagai pelindung resin pada pembuatan demineralis water.
3	Industri Plastik	katalisator, pengangkut vinil klorida dan vinil asetat.
4	Industri Gas Alam Cair (LNG)	Desulfurisasi, penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas.
5	Industri Pengolahan Emas dan Mineral	Pemurnian, uap merkuri dan menyerap pulutan.

(Arsad et al., 2010)

Perusahaan pengguna karbon aktif di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Daftar Perusahaan Pengguna Karbon Aktif di Indonesia

Nama Perusahaan	Bidang Usaha	Lokasi kota/kabupaten, Provinsi
PAM JAYA	Air Minum	Jakarta
PT Krakatau Daya Tirta	Air Mineral Kemasan	Cilegon, Jawa Barat
PT Nestle	Makanan	Pasuruan, Lampung, Cikupa, Karawang, Jakarta
PT Sidomuncul	Jamu dan obat	Semarang, Jawa Tengah
PT Akasha Wira International	Air Minum Botol dan Kosmetik	Yogyakarta
PT Akusara Abadi	Besi dan Baja	Tangerang Selatan
PDAM Tirta Siak	Air Bersih	Siak, Riau
PDAM Tirta Kampar	Air Bersih	Kampar, Riau
PT Astra International	Otomotif	Jakarta
PT Bumitama Agri Ltd	CPO (<i>Crude Palm Oil</i>)	Kalimantan dan Riau
PT Combiphar	Obat	Bandung Barat
Badan Pengelola Air Bersih (BPAB)	Air Bersih	Rokan Hulu, Riau
PT Danone Dairy Indonesia	Produk olahan susu, biskuit, sereal	Cikarang, Jawa Barat
PT Ecogreen Oleochemicals	Ester, Asam Oleat, Fatty Alkohol	Batam
PT Garudafood Indonesia	Snack, Biskuit, Wafer	Pati, Jawa Tengah
PT Dovechem	Formaldehide	Banten, Jawa Barat
PDAM Pekan Baru	Air Bersih	Pekanbaru, Riau
PKS Rantau Sakti	Oil and gas	Rokan Hulu, Riau
PT Hankook Tire Indonesia	Otomotif	Cikarang, Jawa Barat
PT Indofood Sukses Makmur	Makanan	Jakarta, Bandung, Surabaya
PT Multi Trading Pratama	Chemical	Siak, Riau
PDAM Mempura	Air Bersih	Siak, Riau
PT Japfa Comfeed Indonesia	Agri food	Semarang, Sragen, Grobogan, Jawa Tengah
PT Kino Indonesia	Farmasi, produk perawatan tubuh, makanan, minuman	Tangerang, Jawa Barat
PT Metito	Konsultan dan Penyedia perlengkapan WWTP	Jakarta
PT Tempo Scan Pacific	Farmasi dan kosmetik	Jakarta

(Intan Prima Group, 2018 ^(a), Ady Water, 2018 ^(b))

2.3 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak kelapa sawit (CPO-Crude Palm Oil) yang menduduki posisi penting dalam sektor pertanian dan sektor perkebunan. Kelapa sawit merupakan komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat (Haryanti *et al.*, 2014). Menurut data yang dikeluarkan Badan Pusat Statistik pada 2019, produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 36.594.813 ton yang meningkat tiap tahunnya. Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, akan terjadi pula peningkatan volume limbahnya. Umumnya limbah padat industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan. Penanganan limbah secara tidak tepat akan mencemari lingkungan. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengolah dan meningkatkan nilai ekonomi limbah padat kelapa sawit.

Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang dan fiber (sabut). Basis satu ton kelapa sawit mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23%, limbah cangkang (shell) sebanyak 6,5%, wet decanter solid (lumpur sawit) 4 %, serabut (fiber) 13% serta limbah cair sebanyak 50% (Haryanti *et al.*, 2014)

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah yang keberadaannya melimpah di Indonesia dan memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Pemanfaatan TKKS yang umum dilakukan saat ini adalah digunakan sebagai mulsa di kebun, akan tetapi biaya transportasi yang dikeluarkan per unit cukup tinggi. Pemanfaatan lainnya adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk organik. TKKS dalam pemanfaatannya dibakar di incenerator sehingga abunya dapat digunakan sebagai pupuk kalium. Namun usaha pembakaran TKKS

tersebut ternyata tidak efektif dan dilarang oleh pemerintah karena dapat menimbulkan pencemaran udara (Simatupang et al., 2012)

Kandungan selulosa, hemiselulosa, serta lignin pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang sangat tinggi menyebabkan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Kandungan lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Data Kandungan Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit

No.	Komponen	Kandungan (%)	Rumus Kimia
1.	Lignin	18,10	$C_{15}H_{14}O_{4(s)}$
2.	Selulosa	59,70	$2C_6H_{10}O_{5(s)}$
3.	Hemiselulosa	22,10	$C_5H_8O_{4(s)}$
4.	Abu	0,1	

(Rachmani, 2014)

Bahan baku pembuatan karbon aktif yaitu TKKS sebagai bahan utama didapatkan dari industri kelapa sawit yang ada di Provinsi Riau. Riau merupakan provinsi penghasil TKKS terbesar di Indonesia yaitu 8,8 juta ton/tahun (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019). Pada Kabupaten Siak, produksi kelapa sawit sebesar 970 kton. Limbah padat TKKS mencapai 25-26% dari total produksi kelapa sawit (Dewanti, 2018) sehingga mencukupi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. TKKS di Kabupaten Siak tersebar di berbagai perkebunan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.4 Perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Siak

No	Perkebunan	Produksi
1	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V LUBUK DALAM	30 ton tbs/jam
2	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI BUATAN	60 ton tbs/jam
3	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA SEI GALUH	60 ton tbs/jam
4	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI GARO	30 ton tbs/jam
5	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI INTAN	30 ton tbs/jam
6	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI PAGAR	30 ton tbs/jam
7	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI ROKAN	60 ton tbs/jam
8	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V SEI TAPUNG	60 ton tbs/jam
9	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V TANAH PUTIH	60 ton tbs/jam
10	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V TANDUN	40 ton tbs/jam
11	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V TANJUNG MEDAN	30 ton tbs/jam
12	PT. PERKEBUNAN NUSANTARA V TERANTAM	60 ton tbs/jam

Tbs : tandan buah segar

(Febijanto et al., 2010)

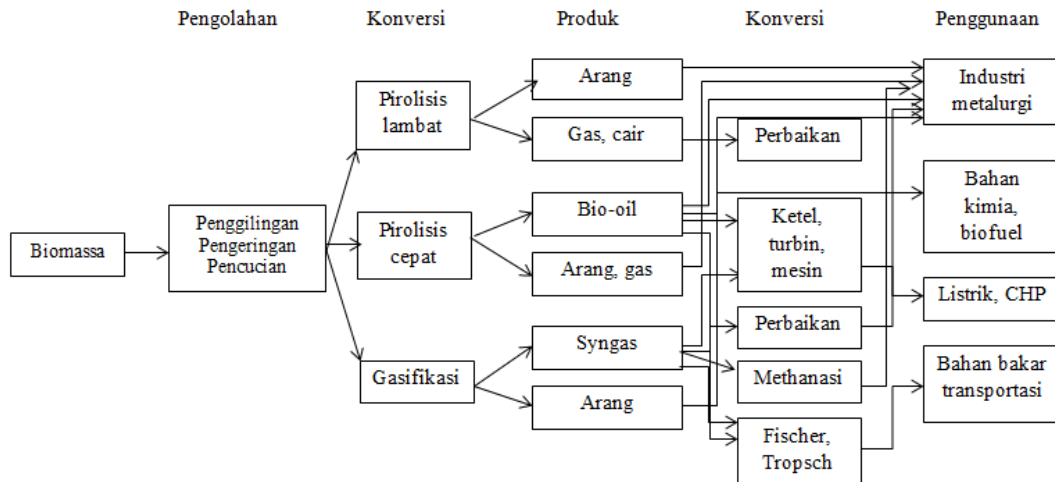
Dalam sehari produksi dibutuhkan 158,378 ton TKKS. Presentase TKKS yang akan digunakan yaitu sebesar 30% dari total kapasitas produksi PT. Perkebunan Nusantara V Sei Buatan, PT. Perkebunan Nusantara Sei Galuh, PT. Perkebunan Nusantara V Sei Rokan, Pt. Perkebunan Nusantara V Sei Tapung, PT. Perkebunan Nusantara V Tanah Putih, dan PT. Perkebunan Nusantara V Terantam.

2.4 Metode pembuatan Karbon Aktif

2.4.1 Metode Pirolisis

Pirolisis merupakan proses penguraian biomassa menjadi fraksi padat, cair dan gas tanpa menggunakan oksigen. Adapun kelebihan porses pirolisis yaitu dapat

bekerja suhu sekitar 500 °C dan tekanan 1 atm (K, Endang et al., 2016). Fraksi padat yang dihasilkan digunakan sebagai karbon aktif, sedangkan fraksi cair dari hasil pirolisis memiliki manfaat sebagai bahan bakar minyak (Kusmiati et al., 2015).



Gambar 2.3 Pengolahan biomassa secara konversi termokimia dalam industri (Suopajarvi et al., 2013)

Terdapat tiga jenis proses pirolisis, yaitu pirolisis cepat pirolisis lambat dan gasifikasi. Perbandingan kondisi operasi untuk proses pirolisis dapat dilihat pada Tabel 2.5.

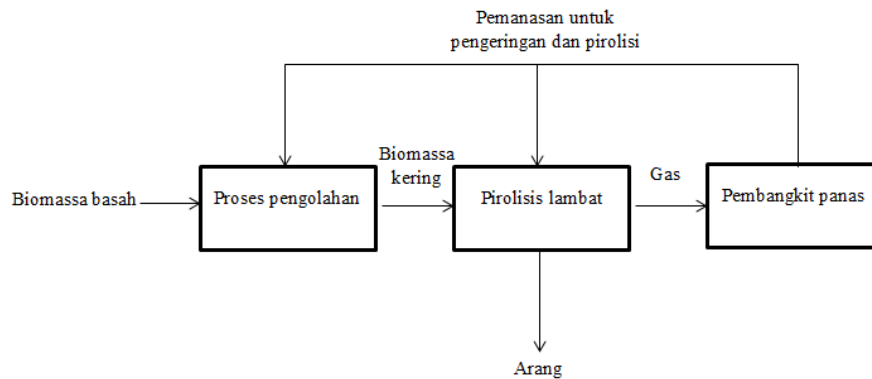
Tabel 2.5 Perbandingan Kondisi Operasi dan Variasi Proses Pirolisis

Proses Pirolisis	Waktu Tinggal (s)	Laju Pemanasan (K/s)	Ukuran Partikel (mm)	Suhu (C)	Produk Hasil (%)		
					Minyak	Arang	Gas
Slow	450-550	0,1-1	5-50	400-600	30	35	35
Fast	0,5-10	10-2000	<1	577-977	50	20	30
Flash	<0,5	>1000	<0,2	777-1027	75	12	13

(Chowdury, et al., 2012)

Berdasarkan Tabel 2.5 proses pirolisis lambat sangat efisien untuk skala pabrik karena dapat memproduksi arang aktif lebih banyak daripada proses pirolisis cepat dan dapat menghasilkan yield karbon aktif lebih banyak. Proses pirolisis lambat

yang digunakan dalam industri yaitu karbonasi. Proses pirolisis lambat ditunjukkan pada Gambar 2.4



(Bridgwater, 2012)

Karbonasi merupakan proses dimana terjadi konversi bahan organik menjadi arang dalam ruangan tanpa oksigen (Wulandari et al., 2015). Apabila proses karbonasi terdapat oksigen, maka akan terjadi reaksi bahan baku dengan oksigen yang akan menghasilkan abu (Nugrahani Rizki et al., 2019)

Proses karbonasi yang berlangsung pada suhu 400°C - 600°C akan terjadi pembentukan karbon. Selulosa mengalami dekomposisi menjadi karbon pada suhu 302°C – 427°C, sedangkan hemiselulosa akan menjadi karbon pada suhu 227°C – 327°C, dan lignin akan menjadi karbon pada suhu 397°C – 607°C (Yeo et al., 2019)

2.4.2 Metode Aktivasi

Proses aktivasi yaitu proses dimana ikatan hidrokarbon dipecah atau molekul-molekul permukaan dioksidasi sehingga ukuran pori bertambah luas (Ilomuanya et al., 2017). Selain meningkatkan luas permukaan, proses aktivasi juga bertujuan untuk memperbesar kapasitas adsorpsi (Kusumastuti et al., 2018). Proses aktivasi dibagi menjadi dua jenis yaitu:

a. Aktivasi fisika

Aktivasi fisika merupakan proses aktivasi dengan pemanasan karbon pada suhu 600°C hingga mencapai 1000°C dengan bantuan panas, uap, dan gas CO₂.

(Jaroniec et al., 2015). Molekul - molekul air, hidrogen, CO, dan senyawa pengotor lainnya dari rangka kristal (*framework*) dikeluarkan pada proses aktivasi sehingga pori lebih terbuka dan luas permukaan pori bertambah (Viena et al., 2018).

b. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia merupakan aktivasi yang dilakukan menggunakan *activating agent* yang berfungsi untuk membuka permukaan arang yang tertutup oleh tar (Yuliasuti & Cahyono, 2017). *Activating agent* akan merusak permukaan pada bagian dalam karbon dan mengoksidasinya sehingga daya adsorpsi yang terbentuk akan meningkat. Jenis *activating agent* yang digunakan yaitu H_3PO_4 , $CaCl_2$, KOH , H_2SO_4 , Na_2CO_3 , $NaCl$, K_2S , HCl , $ZnCl_2$, dan $NaOH$. Agen pengaktif juga berfungsi sebagai penghambat tar serta dapat meminimalisir terbentuknya asam asetat dan metanol (Haryanti A et al., 2014)

Kelebihan dari proses aktivasi kimia antara lain luas permukaan karbon aktif lebih tinggi, kondisi operasi lebih rendah dan waktu yang dibutuhkan lebih singkat sehingga lebih efisien. Perbandingan proses aktivasi ditunjukkan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Perbandingan Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia

Jenis	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia
Temperatur	700-1100° C	600-800° C
Yield	6%	27-47%
Kualitas Produk	Luas permukaan rendah <2500 m ² /g, distribusi pori heterogen	Luas permukaan tinggi 3100 m ² /g, distribusi pori homogeny
Waktu aktivasi	Waktu aktivasi lama	Waktu aktivasi singkat
Peralatan	Tidak memerlukan proses pencucian setelah aktivasi	Memerlukan proses pencucian setelah aktivasi
Waktu aktivasi	24 jam	3-5 jam

(Hidayat & Sutrisno, 2016), (Basu, 2010)

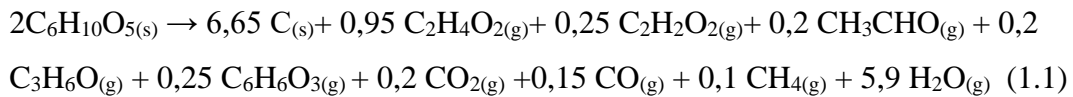
Dari kedua proses pembuatan karbon aktif, dipilih proses aktivasi kimia dengan alasan sebagai berikut :

- Yield produk yang dihasilkan lebih tinggi yaitu 27-47%
- Waktu aktivasi lebih cepat yaitu 3-5 jam
- Produk karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan tinggi dan distribusi pori lebih lebar.

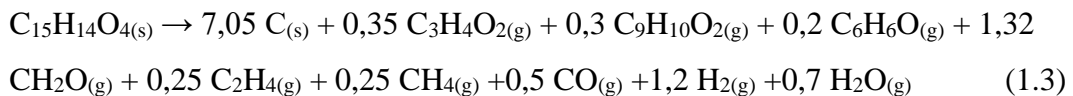
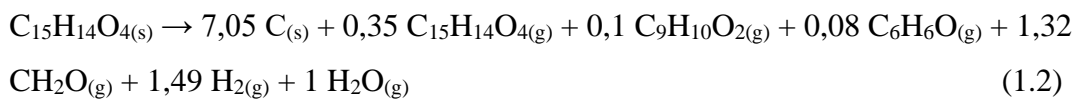
2.4.3 Mekanisme Reaksi

Reaksi pirolisis ini menghasilkan karbon sebagai hasil utama dan bio oil sebagai hasil samping. Reaksi ini ditunjukkan oleh persamaan 1.1, 1.2, 1.3, dan 1.4 dan secara keseluruhan reaksi tersebut berlangsung seri.

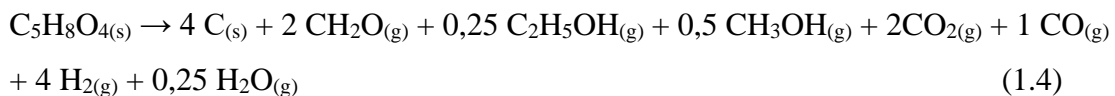
Reaksi Selulosa



Reaksi Lignin



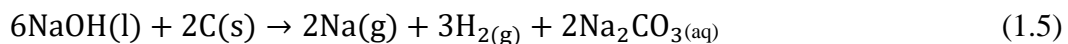
Reaksi Hemiselulosa



(Ranzi et al., 2008)

Reaksi Aktivasi

Reaksi aktivasi ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut



(Rachmani et al., 2014)

Tabel 2.7 Komponen persamaan reaksi Pirolisis

Komponen	Rumus
Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O
Dimethyl ketone	C ₃ H ₆ O
Formaldehyde	CH ₂ O
Methanol	CH ₃ OH
Ethanol	C ₂ H ₅ OH
Ethyl benzoate	C ₉ H ₁₀ O ₂
Phenol	C ₆ H ₆ O
Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂
Ethylene	C ₂ H ₄
Water	H ₂ O
Benzenetriol	C ₆ H ₆ O ₃
Methane	CH ₄
Carbon monoxide	CO
Carbon dioxide	CO ₂
Hydrogen	H ₂

(Perry, 1999)

2.5 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika berupa perubahan entalpi (ΔH) yang dapat dihitung dengan persamaan-persamaan termodinamika. Entalpi merupakan jumlah energi dari suatu sistem termodinamika. Penentuan jenis reaksi bersifat eksotermis atau endotermis pada reaksi karbonisasi dapat dihitung dengan perhitungan entalpi reaksi (ΔH_R) pada kondisi $P = 1$ atm dan $T = 400^\circ\text{C}$. Sedangkan pada reaksi aktivasi dapat dihitung dengan perhitungan entalpi reaksi (ΔH_R) reaksi di *rotary kiln* pada kondisi $P = 1$ atm dan $T = 700^\circ\text{C}$. Data ΔH_R masing-masing komponen pada suhu 400°C dan 700°C ditunjukkan pada Tabel 2.8 dan 2.9.

$$H_R = AT + \frac{BT^2}{2} + \frac{CT^3}{3} + \frac{DT^4}{4} - \frac{E}{T} + F - H + Hf_{298.15}^0 \quad (1.10)$$

Tabel 2.8 Data ΔH_R masing-masing komponen pada reaksi karbonisasi

Komponen	H_R 400°C
CH ₃ COOH	-444,558
C ₂ H ₄ O	-176,682
CH ₃ COCH ₃	-232,552
CH ₂ O	-121,689
CH ₃ OH	-212,305
C ₂ H ₅ OH	-249,409
C ₉ H ₁₀ O ₂	-311,948
C ₆ H ₆ O	-108,433
C ₃ H ₄ O ₂	-346,593
C ₂ H ₄	42,923
CO	-110,369
CO ₂	-393,946
CH ₄	-84,806
H ₂ O	-228,641
C ₆ H ₆ O ₃	144,899
C ₆ H ₁₀ O ₅	-641,354
C ₅ H ₈ O ₄	-565,904
C ₁₅ H ₁₄ O ₄	-317,396
C	724,480
C ₂ H ₂ O ₂	-212,000
H ₂	10,958

Tabel 2.9 Data ΔH_R masing-masing komponen pada reaksi aktivasi

Komponen	H_R 700°C
NaOH	-367,969
C	730,711
Na	22,649
H ₂	19,870
Na ₂ CO ₃	-1.027,651
SiO ₂	-867,350
Na ₂ SiO ₃	-1.462,381
H ₂ O	-216,931

$$H_{R1} = \Delta H_R \text{ produk} - \Delta H_R \text{ reaktan} \quad (1.11)$$

$$= 6,65 \Delta H_{RC} + 0,95 \Delta H_{RC_2H_4O_2} + 0,25 \Delta H_{RC_2H_2O_2} + 0,2 \Delta H_{RC_2H_4O} + \\ 0,2 \Delta H_{RC_3H_6} + 0,25 \Delta H_{RH_6O_3} + 0,2 \Delta H_{RCO_2} + 0,15 \Delta H_{RCO} + 0,1 \Delta H_{RCH_4} \\ + 5,9 \Delta H_{RH_2O} - (2 \Delta H_{RC_6H_{10}O_5}) \quad (1.12)$$

$$= 4,126 \text{ kJ}$$

$$H_{R2} = \Delta H_R \text{ produk} - \Delta H_R \text{ reaktan} \quad (1.13)$$

$$= 7,05 \Delta H_{RC} + 0,35 \Delta H_{RC_{15}H_{14}O_4} + 0,1 \Delta H_{RC_9H_{10}O_2} + 0,08 \Delta H_{RC_6H_6O} \\ + 1,49 \Delta H_{RH_2} \quad (1.14)$$

$$= +1,32 \Delta H_{RCH_2O} + 1 \Delta H_{RH_2O} - (\Delta H_{RC_{15}H_{14}O_4})$$

$$= 4,901 \text{ kJ}$$

$$H_{R3} = \Delta H_R \text{ produk} - \Delta H_R \text{ reaktan} \quad (1.15)$$

$$= 7,05 \Delta H_{RC} + 0,35 \Delta H_{RC_3H_4O_2} + 0,3 \Delta H_{RC_9H_{10}O_2} + 0,2 \Delta H_{RC_6H_6O} + \\ 1,32 \Delta H_{RCH_2O} + 0,25 \Delta H_{RC_2H_4} + 0,25 \Delta H_{RCH_4} + 0,5 \Delta H_{RCO} + 1,2 \Delta H_{RH_2} \\ + 0,7 \Delta H_{RH_2O} - (\Delta H_{RC_{15}H_{14}O_4}) \quad (1.16)$$

$$= 4,815 \text{ kJ}$$

$$H_{R4} = \Delta H_R \text{ produk} - \Delta H_R \text{ reaktan} \quad (1.17)$$

$$= (4 \Delta H_{RC} + 2 \Delta H_{RCH_2O} + 0,25 \Delta H_{RC_2H_6O} + 0,5 \Delta H_{RCH_4O} + 2 \Delta H_{RCO_2} + \\ \Delta H_{RCO} + 4 \Delta H_{RH_2} + 5 \Delta H_{RH_2O}) - (\Delta H_{RC_5H_8O_4}) \quad (1.18)$$

$$= 1,072 \text{ kJ}$$

Nilai entalpi reaksi karbonisasi pada 400°C bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi karbonisasi bersifat endotermis.

$$H_{R5} = \Delta H_R \text{ produk} - \Delta H_R \text{ reaktan} \quad (1.19)$$

$$= (2 \Delta H_{RNa} + 3 \Delta H_{RH_2} + 2 \Delta H_{RNa_2CO_3} - (6 \Delta H_{RNaOH} + 2 \Delta H_{RC})) \quad (1.20)$$

$$= -1,204 \text{ kJ}$$

Nilai entalpi reaksi aktivasi pada 700°C bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi aktivasi bersifat eksotermis.

2.6 Tinjauan Kinetika

Lignoselulosa merupakan biomassa yang terdiri atas tiga polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Karbon diperoleh dari pirolisis lignoselulosa tanpa melibatkan oksigen. Pembuatan karbon aktif ini menggunakan lignoselulosa yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit. Persamaan reaksi yang terjadi sebagai berikut:

Reaksi pirolisis selulosa yang berasal dari biomassa memiliki konstanta kecepatan reaksi yang ditunjukkan oleh persamaan 1.1

$$k = 1 \times 10^9 \exp(-30000/RT) \text{ s}^{-1} \quad (1.6)$$

Reaksi pirolisis lignin yang berasal dari biomassa memiliki konstanta kecepatan reaksi yang ditunjukkan oleh persamaan 1.2

$$k = 4 \times 10^{15} \exp(-48500/RT) \text{ s}^{-1} \quad (1.7)$$

Reaksi pirolisis lignin yang kedua berasal dari biomassa memiliki konstanta kecepatan reaksi yang ditunjukkan oleh persamaan 1.3

$$k = 5 \times 10^6 \exp(-31500/RT) \text{ s}^{-1} \quad (1.8)$$

Reaksi pirolisis hemiselulosa yang berasal dari biomassa memiliki konstanta kecepatan reaksi yang ditunjukkan oleh persamaan 1.4

$$k = 1 \times 10^{10} \exp(-3300/RT) \text{ s}^{-1} \quad (1.9)$$

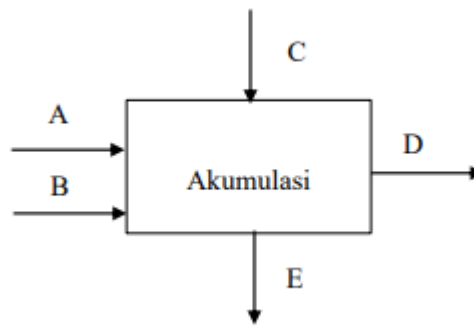
(Ranzi et al., 2008)

2.7 Neraca Massa

Neraca massa merupakan perhitungan yang tepat dari total bahan yang masuk dan keluar sebagai produk dalam waktu tertentu. Hal tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa massa tidak dapat dimuskhakan atau diciptakan. Neraca massa digunakan untuk mengetahui jumlah aliran bahan yang masuk ke alat proses dan keluar sebagai produk dalam suatu proses sesuai dengan Hukum Kekekalan Massa. Jumlah aliran bahan yang masuk sama dengan jumlah aliran produk yang keluar. Prinsip umum dari suatu neraca

massa adalah membuat beberapa persamaan yang tidak saling bergantung antara yang lain, dimana persamaan tersebut memiliki jumlah yang sama dengan komposisi massa yang tidak diketahui (Wuryanti, 2016). Dalam suatu sistem apapun, jumlah bahan akan tetap sama walaupun bahan tersebut mengalami perubahan secara fisik (Sugiharto et al, 2016). Oleh karena itu, dalam proses pengolahan akan terjadi akumulasi bahan masuk sama dengan bahan yang keluar sebagai produk ditambah dengan produk samping dan limbah.

Persamaan neraca massa secara umum adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Diagram Alir Neraca Massa

Persamaan neraca massa:

Massa masuk = massa keluar + akumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}}$$

Apabila tidak terdapat massa akumulasi, maka persamaan neraca massa menjadi:

Massa masuk = massa keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E$$

Ni'mah, 2017 menyatakan bahwa neraca massa dapat dibedakan menjadi 2 yaitu sebagai berikut:

1. Neraca massa *overall*

Neraca massa *overall* adalah neraca massa dimana seluruh komponen bahan masuk dan bahan keluar dihitung dari mulai proses awal sampai selesai proses dan merupakan satu kesatuan.

2. Neraca massa komponen

Neraca massa komponen merupakan perhitungan neraca massa berdasarkan satu komponen bahan masuk.

Komponen bahan masuk = komponen bahan keluar

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Aliran neraca massa pada pabrik karbon aktif adalah setimbang antara massa aliran masuk sama dengan massa aliran produk yang keluar.
2. Secara keseluruhan, *input* bahan baku yang dibutuhkan adalah TKKS sebesar 52.264,808 ton/tahun, NaOH sebesar 21.492,892 ton/tahun, serta HCL sebesar 60.062,559 ton/tahun untuk menghasilkan karbon aktif dengan kapasitas 12.000 ton/tahun.

5.2 Saran

1. Perhitungan aliran neraca massa pada setiap komponen perlu dilakukan dengan detail untuk setiap alat proses.
2. Diperlukan ketelitian dalam menghitung aliran neraca massa untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba, 2020. http://www.alibaba.com/?__redirected__.14 Januari 2020 (15.04)
- Amin, A., Sitorus, S., & Yusuf, B. (2016). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays*) sebagai Arang Aktif dalam Menurunkan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat pada Limbah Cair Industri Tahu menggunakan Teknik Celup. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(2), 78–84.
- Arena, N., Lee, J., & Clift, R. (2016). Life Cycle Assessment of activated carbon production from coconut shells. *Journal of Cleaner Production*, 125, 68–77.
- Arifin, Z., Irawan, D., Kasim, M., & Fajar, M. (2018). *Adsorpsi Logam Fe (II) dalam Limbah Cair Artifisial Menggunakan Komposit Kitosan-Karbon Aktif Cangkang Buah Karet*. April, 1–5.
- Badri, M. A. (2007). Dimensions of Industrial Location Factors: Review and Exploration. *Business and Public Affairs*, 1(2), 4–26.
- Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Oxford: Elsevier Inc.
- Bridgestone. Corporation. 2003. *Conveyor Belt Design Manual*. Tokyo, Japan.
- Chopey, N.P. 2004. *Handbook of Chemical Engineering Calculations*. McGraw-Hill Inc., New York.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94.
- Brown, G. G.1950. *Unit Operation*. CBS Publisher. New Delhi.

- Chowdhury, S., Saha, P., Chakraborty, S. (2012). Batch and continuous (fixed-bed column) biosorption of crystal violet by *Artocarpus heterophyllus* (jackfruit) leaf powder. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 92, 262–270.
- Dewanti, D. P. (2018). *Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan Cellulose Potential of Empty Fruit Bunches Waste as The Raw Material of Bioplastics Environmentally Friendly*. 19(1), 81–88.
- Dwidiani, N. M., Gede, I. D., & Subagia, A. (2018). *PENGARUH KONSENTRASI HCl TERHADAP KARBON AKTIF SEKAM PADI UNTUK MENGURANGI METHYLENE BLUE*. 2018, 145–147.
- Endang, Mukhtar G, A. N. (2016). Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak. *Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN “Veteran” Yogyakarta*, 1–7.
- Erprihana, A. A., & Hartanto, D. (2014). PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI KULIT JERUK KEPROK (*Citrus reticulata*) UNTUK ADSORBSI PEWARNA REMAZOL BRILLIANT BLUE. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2).
- Febijanto, I. (2010). Pengurangan Gas Rumah Kaca Dari Limbah Cair Di Pabrik Kelapa Sawit Pt Perusahaan Nusantara , Riau. *Jrl*, 6(3), 275–290.
- Gamal, M., Mousa, H. A., El-Naas, M. H., Zacharia, R., & Judd, S. (2018). Bio-regeneration of activated carbon: A comprehensive review. *Separation and Purification Technology*, 197(August 2017), 345–359.
- Hakim, L., & Marsalin, I. (2017). Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Katalis. *Teknologi Kimia Unimal* 6, 1(Mei), 68–81.

- Haryanti A., Norsamsi, Sholiha P.S.F., P. N. P. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Konversi*, 3(2), 20–22.
- Haryanti A., Norsamsi, Sholiha P.S.F., P. N. P. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Konversi*, 3(2), 20–22.
- Hidayat, A., & Sutrisno, B. (2016). Comparison on pore development of activated carbon produced by chemical and physical activation from palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 162(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/162/1/012008>
- Hidayat, A., & Sutrisno, B. (2016). Comparison on pore development of activated carbon produced by chemical and physical activation from palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 162(1).
- Hidayati, A. S. D. S., Kurniawan, S., Restu, N. W., & Ismuyanto, B. (2016). Potensi Ampas Tebu Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif. *Natural B*, 3(4), 311–317.
- Ilomuanya, M., Nashiru, B., Ifudu, N., & Igwilo, C. (2017). Effect of pore size and morphology of activated charcoal prepared from midribs of *Elaeis guineensis* on adsorption of poisons using metronidazole and *Escherichia coli* O157:H7 as a case study. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(1), 32.
- Imammuddin, A. M., Soeparman, S., & Suprpto, W. (2018). *SEBAGAI BAHAN DASAR ABSORBER GELOMBANG*. 9(2), 135–141.
- Islam, S., Kao, N., Bhattacharya, S. N., Gupta, R., & Bhatt, P. K. (2017). *Effect of low pressure alkaline delignification process on the production of nanocrystalline cellulose from rice husk*. 0, 1–15.

- Jamilatun, S., Setyawan, M., Salamah, S., Purnama Ayu Astri, D., & Putri Melani Utami, R. (2015). Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Aktivasi Sebelum Dan Sesudah Pirolisis. *Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Aktivasi Sebelum Dan Sesudah Pirolisis*, 0258, 1–8.
- Jhon, W. ., Nora, I., & Rudiansyah, R. (2015). Optimasi Jenis dan Konsentrasi Asam Pada hidrolisis Selulosa dalam Tongkol Jagung. *Jurnal Kovalen*, 4(4), 35–47.
- Kusmiati, L., Bahri, S. (2015). *BIO-OIL MENGGUNAKAN KATALIS Ni / LEMPUNG*. 1–7.
- Ludwinowicz, J., & Jaroniec, M. (2015). Effect of activating agents on the development of microporosity in polymeric-based carbon for CO₂ adsorption. *Carbon*, 94, 673–679.
- Ludwinowicz, J., & Jaroniec, M. (2015). Effect of activating agents on the development of microporosity in polymeric-based carbon for CO₂ adsorption. *Carbon*, 94, 673–679. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.07.052>
- Mahmoodi, N. M., Taghizadeh, M., & Taghizadeh, A. (2018). Mesoporous activated carbons of low-cost agricultural bio-wastes with high adsorption capacity: Preparation and artificial neural network modeling of dye removal from single and multicomponent (binary and ternary) systems. *Journal of Molecular Liquids*, 269, 217–228.
- Maulinda, L., Za, N., Sari, D. N., Kimia, J. T., Teknik, F., & Malikussaleh, U. (2015). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2), 11–19.
- Nugrahani Rizki, Andayani Yayuk, H. A. (2019). Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA). *SKRINING FITOKIMIA DARI EKSTRAK BUAH BUNCIS (Phaseolus Vulgaris L) DALAM SEDIAAN SERBUK*, 5(1).

- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2018). Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 131–139.
- Nurullita, U. (2016). *Pengaruh Berat Karbon Aktif Kulit Durian Dalam Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (Co) Dalam Ruangan*. 2407–9189.
- Pallarés, J., González-Cencerrado, A., & Arauzo, I. (2018). Production and characterization of activated carbon from barley straw by physical activation with carbon dioxide and steam. *Biomass and Bioenergy*, 115(January), 64–73.
- Peter, M. S. dan Timmerhause, E. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineers 3rd edition*. McGraw Hill International Book Company, Singapore
- Ranzi, E., Cuoci, A., Faravelli, T., Frassoldati, A., Migliavacca, G., Pierucci, S., & Sommariva, S. (2008). *Chemical Kinetics of Biomass Pyrolysis*. 4(5), 4292–4300
- Reliantari, I. F., Evanuarini, H., & Thohari, I. (2017). *PENGARUH KONSENTRASI NaOH TERHADAP pH, KADAR PROTEIN PUTIH TELUR DAN WARNA KUNING TELUR PIDAN The Effect of NaOH Concentration on pH, Egg White Protein Content and Yolk Colour Pidan Egg*. 12(2), 69–75.
- Sahira, J., Mandira, A., Prasad, P. B., & Ram, P. R. (2013). Effects of Activating Agents on the Activated Carbons Prepared from Lapsi Seed Stone. *Research Journal of Chemical Science*, 3(5), 19–24.
- Sharma, P., Phanden, R. K., & Baser, V. (2012). Analysis for Site Selection Based on Factors Rating. *International Journal of Emerg Ing Trends in Engineering and Develop Ment*, 6(2), 616–622.

- Simatupang, Andi Nata, & Netti Herlina. (2012). Studi Isolasi Dan Rendemen Lignin Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 20–24.
- Sunarsih, S., Hastutiningrum, S., & Nisa, T. D. (2016). Activated Carbon from Jackfruit Peel Waste as Decolouring Agent of Screen Printing Waste Water. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, 1–10.
- Suopajarvi, H., Pongrácz, E., & Fabritius, T. (2013). The potential of using biomass-based reducing agents in the blast furnace: A review of thermochemical conversion technologies and assessments related to sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 511–528.
- Surest, A. H., Permana, I., & Wibisono, R. G. (2010). Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Biji Ketapang. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(4), 1–11.
- Taer, E., Mustika, W. S., & Taslim, R. (2016). *Pengaruh Suhu Aktivasi Co₂ Terhadap Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*. V, SNF2016-MPS-49-SNF2016-MPS-54.
- Treyball, R.E. 1984. *Mass Transfer Operation*. International Student Edition. Mc Graw Hill International Book Company. Japan.
- Tsoncheva, T., Mileva, A., Marinov, S. P., Paneva, D., Velinov, N., Spassova, I., Kosateva, A., Kovacheva, D., & Petrov, N. (2017). PT. *Microporous and Mesoporous Materials*.
- U. Haura, F. Razi, H. M. (2017). Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*, 8(1), 47–54.
- Utama, S., & Kristianto, H. (2016). *Adsorpsi Ion Logam Kromium (Cr (Vi)) Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak*. Vi, 1–6.

- Wallas, S. M., 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*, 3rd edition, Butterworth Publisher, Stoneham USA.
- Wallas, M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*, 4th edition. Butterworth-Heinemann : Boston.
- Wang, L., Guo, Y., Zou, B., Rong, C., Ma, X., Qu, Y., Li, Y., & Wang, Z. (2011). High surface area porous carbons prepared from hydrochars by phosphoric acid activation. *Bioresource Technology*, 102(2), 1947–1950.
- Wardani, S., & Viena, V. (2018). *Potensi Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok (Musa Acuminata L) Dalam Menyerap Gas CO Dan SO 2 Pada Emisi Kendaraan Bermotor*. III(1), 262–270.
- Wardani, S., . E., & Viena, V. (2008). Potensi Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok (Musa Acuminata L) Dalam Menyerap Gas CO Dan SO₂ Pada Emisi Kendaraan Bermotor. *Jurnal Serambi Engineering*, 3(1), 262–270.
- White, F. M. 1999. *Fluid Mechanics 4th edition*. McGraw Hill International Book Company, Tokyo, United State of America.
- Wulandari, F., Umiatin, & Budi, E. (2015). PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN NaOH PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA UNTUK ADSORPSI LOGAM Cu²⁺. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(2), 60–64.
- Yeo, J. Y., Chin, B. L. F., Tan, J. K., & Loh, Y. S. (2019). Comparative studies on the pyrolysis of cellulose, hemicellulose, and lignin based on combined kinetics. *Journal of the Energy Institute*, 92(1), 27–37.
- Yuliasuti, R., & Cahyono, H. B. (2017). *Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Industri Asbes*. 2(2), 77–83.

Zein, R., Ramadhani, P., Aziz, H., & Suhaili, R. (2019). Biosorben cangkang pensi (*Corbicula moltkiana*) sebagai penyerap zat warna metanil yellow ditinjau dari pH dan model kesetimbangan adsorpsi. *Jurnal Litbang Industri*, 9(1), 15.

Zhang, S., Liu, S., Yu, D., Wang, C., & Li, Q. (2014). Preparation and characterization of activated carbon for separation of CO₂. *Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao/Journal of China University of Mining and Technology*, 43(5), 910–914.