



**NERACA PANAS PADA PRA-RANCANGAN 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 Kimia program Studi Teknik Kimia**

Oleh :

Talita Abfia Mahanani NIM.5213416016

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**



LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**NERACA PANAS PADA PRA-RANCANGAN PABRIK KARBON AKTIF
DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN
KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN**

Oleh :

Talita Abfia Mahanani NIM.5213416016

Semarang, 17 September 2020

Pembimbing

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

NIP. 197405191999032001

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Talita Abfia Mahanani
NIM : 5213416016
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Neraca Panas 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 Panas 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 : Talita Abfia Mahanani
NIM : 5213416016
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. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi 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



Talita Abfia Mahanani

NIM. 5213416016

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

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)

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kesehatan, berkat, dan hikmat kepada saya.
2. Ibu, Bapak, Kakak dan Adik tercinta, terima kasih atas doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia
4. Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku dosen yang telah membimbing skripsi saya.
5. Dr. Megawati, S.T., M.T., dan Ria Wulansarie S.T.,M.T., selaku dosen penguji skripsi.
6. Seluruh dosen Teknik Kimia UNNES yang telah memberikan ilmunya kepada saya.
7. Grup laporan skripsi setiap hari yang selalu membuat semangat mengerjakan skripsi
8. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2016 yang tercinta.

ABSTRAK

Talita Abfia Mahanani, 2020. Neraca Panas Pra-rancangan Pabrik Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kapasitas 12.000 Ton/Tahun, Program Studi S1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Kebutuhan karbon aktif di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, karena banyaknya industri di Indonesia yang menghasilkan polusi baik udara ataupun air. Pra rancangan pabrik karbon aktif dengan kapasitas 12.000 ton/tahun ini menggunakan proses *slow pyrolysis*, berupa karbonisasi lignoselulosa pada Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan produk utama karbon. Karbon hasil pirolisis direaksikan dengan NaOH.

Proses karbonisasi dilakukan pada reaktor auger pirolizer dengan suhu 400°C sedangkan aktivasi karbon berlangsung dalam *rotary kiln* dengan suhu 700°C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya, karbon aktif yang terbentuk didinginkan menggunakan udara lalu dicuci dengan HCl dan air, untuk memisahkan antara karbon aktif dengan pengotor seperti NaOH, Na₂CO₃ dan Na₂SiO₃ yang masih tersisa dari reaksi.

Pabrik karbon aktif ini memerlukan perhitungan neraca panas untuk mengetahui efisiensi panas pada masing-masing alat. alat-alat utama yang menggunakan efisiensi panas yaitu *auger pyrolizer, cooler, condensor, mixer 1, mixer 2, mixer 3, rotary kiln, grate cooler, washer, filter, rotary dryer* dan *rotary cooler*. Dari hasil perhitungan neraca panas, diperoleh entalpi total pada masing-masing alat tersebut sebesar 2.416.577.642,911 kJ/hari, 77.454.089,240 kJ/hari, 1,093x10¹⁰ kJ/hari, 1.375.735,959 kJ/hari, 36.964.678,070 kJ/hari, 38.589.055.423 kJ/hari. 4,826x10¹⁴ kJ/hari. 118.108.669 kJ/hari. 4,317x10¹¹ kJ/hari, 27.737.481.819 kJ/hari, 460.055.081 kJ/hari, dan 425.527.528 kJ/hari

Kata Kunci: *Karbon aktif, TKKS, Karbonasi, Aktivasi, Neraca panas*

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 Panas 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. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
4. Prof. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan skripsi ini.
5. Dr. Megawati, S.T., M.T., dan Ria Wulansarie, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan II telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas skripsi ini.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.

7. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan akademisi untuk memperoleh data yang relevan mengenai pabrik karbon aktif dari Tandan kosong kelapa sawit.

Semarang, 17 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Karbon Aktif.....	6
2.2. Tandan Kosong Kelapa Sawit	7
2.3. Karbonasi.....	9
2.4. Aktivasi	9
2.5. Neraca Panas	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	14
3.2. Alat dan Bahan	14
3.3. Prosedur Kerja.....	14
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	15
BAB IV PEMBAHASAN.....	16
4.1. Neraca panas pada <i>Auger Pyrolizer</i> (R-01).....	16
4.2. Neraca panas pada <i>Cooler</i> (E-01).....	16
4.3. Neraca panas pada <i>Condenser</i> (E-02)	17
4.4. Neraca panas pada <i>Mixer</i> (M-02).....	19
4.5. Neraca panas pada <i>Mixer</i> (M-03).....	19

4.6.	Neraca panas pada <i>Rotary Kiln</i> (DD-01).....	20
4.7.	Neraca panas pada <i>Grate Cooler</i> (E-03)	20
4.8.	Neraca panas pada <i>Mixer</i> 01 (M-01).....	21
4.9.	Neraca panas pada <i>Washer</i>	21
4.10	Neraca panas pada <i>Filter</i>	22
4.11.	Neraca panas pada <i>Rotary Dryer</i>	22
4.12.	Neraca panas pada <i>Rotary Cooler</i>	23
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....		24
5.1.	Simpulan.....	24
5.2.	Saran	24
DAFTAR PUSTAKA		25
LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA PANAS		33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Kandungan Lignoselulosa TKKS, Sekan padi dan Tongkol jagung	3
Tabel 2.1 Perbandingan Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia.....	10
Tabel 4.1 Neraca panas pada Auger Pyrolizer (R-01)	16
Tabel 4.2 Neraca panas pada Cooler (E-01)	17
Tabel 4.3 Neraca panas pada Condensor	18
Tabel 4.4 Neraca panas pada Mixer (M-02)	19
Tabel 4.5 Neraca panas pada Mixer (M-03)	19
Tabel 4.6 Neraca panas pada Rotary Kiln (R-02).....	20
Tabel 4.7 Neraca panas pada Grate Cooler (E-03)	21
Tabel 4. 8Neraca panas pada Mixer-01.....	21
Tabel 4.9 Neraca panas pada Washer (WR-01)	22
Tabel 4.10 Neraca panas pada Filter (P-01).....	22
Tabel 4.11 Neraca panas pada Rotary Dryer (RD-01).....	23
Tabel 4.12 Neraca panas pada Rotary Cooler (E-04)	23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Energi Pada Sistem	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 4.1 Blok Diagram Auger Pyrolizer (R-01).....	16
Gambar 4.2 Blok Diagram Cooler (E-01).....	17
Gambar 4.3 Blok Diagram Condensor.....	18
Gambar 4.4 Blok Diagram Mixer (M-02).....	19
Gambar 4.5 Blok Diagram Mixer (M-03).....	19
Gambar 4.6 Blok Diagram Rotary Kiln (R-02)	20
Gambar 4.7 Blok Diagram Grate Cooler (E-03).....	20
Gambar 4.8 Blok Diagram Mixer-01	21
Gambar 4.9 Blok Diagram Washer (WR-01)	21
Gambar 4.10 Blok Diagram Filter (P-01)	22
Gambar 4.11 Blok Diagram Rotary Dryer (RD-01)	23
Gambar 4.12 Blok Diagram Rotary Cooler (E-04).....	23

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia semakin berkembang, hal ini memberikan dampak positif sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Namun, kemajuan industri ini sangat menimbulkan efek samping yaitu meningkatnya resiko pencemaran lingkungan akibat limbah industri yang dihasilkan seperti penurunan kualitas air, bau tidak sedap pada industri obat dan makanan, gas berbahaya, serta kontaminasi zat warna dalam limbah cair. Ada beberapa metode untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya adalah metode adsorpsi menggunakan adsorben. Metode ini banyak digunakan karena peralatan yang digunakan sederhana dan murah, aman, efisien, tidak memberikan efek samping yang membahayakan kesehatan, dapat di daur ulang, dan ekonomis (Zein et al., 2019).

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben paling potensial untuk digunakan adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah suatu padatan berpori dengan kandungan karbon 85-95%, yang dibuat dengan bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Nurullita 2016). Karbon aktif mempunyai beberapa kelebihan yaitu memiliki Ekapasitas adsorpsi yang tinggi, luas permukaan dan volume pori yang besar, mudah diaplikasikan sederhana dan murah (Mahmoodi et al., 2018). Selain itu, karbon aktif yang berbahan dasar limbah biomassa memiliki harga yang murah dan ramah lingkungan (Haura et al., 2017), Luas permukaan dan pori karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/g (Pallarés et al., 2018), dapat diperbarui (Surest et al., 2010), dan mudah didapat (Sunarsih et al., 2016).

Karbon aktif dapat juga digunakan untuk aplikasi lainnya diluar penghilangan polutan, misalnya untuk penyimpanan gas hidrogen dan metana (Arami et al., 2012), sebagai pengemban katalis logam karena mempunyai luas permukaan yang besar dengan aktivitas katalitik intrinsiknya yang rendah (Tsoncheva et al., 2017),

pemisahan campuran (Liang et al., 2017), dan pemurnian cairan dan gas (Azis et al., 2016)

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

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

Pembuatan karbon aktif mempunyai dua tahap utama, yaitu karbonisasi dan selanjutnya dengan aktivasi. Karbonisasi merupakan proses pengurangan di dalam ruangan yang tidak terdapat adanya oksigen dan bahan kimia lainnya, sedangkan aktivasi merupakan suatu perlakuan pada arang yang memiliki tujuan untuk membuka atau memperbesar pori (Wulandari et al., 2015). Karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi masih memiliki ukuran pori yang kecil, sehingga harus ada perlakuan lebih lanjut. Perlakuan yang bisa meningkatkan kualitas karbon aktif yaitu aktivasi. Proses aktivasi memiliki tujuan untuk dapat menghilangkan kandungan bahan volatile dan tar yang dihasilkan oleh karbonisasi, sehingga ukuran pori dan luas permukaan karbon aktif akan meningkat (Pallarés et al., 2018)

Proses aktivasi terdapat dua jenis yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika (Pallarés et al., 2018). Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan mencampur karbon aktif dengan aktivator. Aktivator yang dapat digunakan adalah $ZnCl_2$, $NaOH$, KOH , H_3PO_4 , H_2SO_4 , $CaCl_2$, K_2CO_3 , HNO_3 , 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, yang 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 lebih ekonomis dibandingkan KOH yang masih diproduksi di negara China (Alibaba,2020). Oleh karena itu, pada perancangan ini menggunakan aktivator NaOH.

Pendirian pabrik karbon aktif ini membutuhkan perhitungan neraca panas untuk mengetahui efisiensi panas tiap alat. Alat yang menggunakan efisiensi panas yaitu *auger pyrolizer, cooler, condensor, mixer 1, mixer 2, mixer 3, rotary kiln, grate cooler, washer, filter, rotary dryer* dan *rotary cooler*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan deskripsi latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana langkah perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 12.000 ton/tahun?
2. Bagaimana hasil perhitungan neraca panas pada setiap alat proses prarancangan pabrik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 12.000 ton/tahun?

1.3. Tujuan Penelitian

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui langkah perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 12.000 ton/tahun?
2. Mengetahui hasil perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 12.000 ton/tahun?

1.4. Manfaat Penelitian

Memberikan pengetahuan mengenai langkah perhitungan neraca panas pada prarancangan pabrik karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 12.000 ton/tahun

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif atau arang aktif adalah bahan padat yang berpori, hasil pembakaran yang mengandung komponen: abu, air, nitrogen dan sulfur. Karena berpori, arang aktif mampu untuk menyerap warna dan bau dari limbah (Hengky et al., 2017). Karbon aktif merupakan 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 seperti 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 memberi 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. bahan dasar harus memiliki kualitas yang sama
- c. pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin

Bahan baku karbon aktif harus memenuhi standar kualitas dan syarat yang 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.

Terdapat 3 jenis pori-pori yang dimiliki karbon aktif, yaitu:

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

(Ilmuanya et al., 2017).

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

- a. Karbon aktif granula

Karbon aktif ini berbentuk butiran atau kepingan (*flake*) dengan ukuran partikel yang lebih besar dari pada 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.

- b. 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 warna, bau, rasa, dan kontaminan organik lainnya.

Produk karbon aktif pada perancangan pabrik kami adalah karbon aktif serbuk. Hal ini dikarenakan kebutuhan dari pasar utama kami adalah karbon aktif berbentuk serbuk.

2.2. Tandan Kosong Kelapa Sawit

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, maka 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 dapat 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 yang 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 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 . Pemanfaatan lainnya adalah digunakan sebagai mulsa di kebun, tetapi biaya transportasi yang dikeluarkan per unit cukup tinggi. (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.

2.3. Karbonasi

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. Aktivasi

Proses aktivasi adalah 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 (Yuliastuti & 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 H₃PO₄, CaCl₂, KOH, H₂SO₄, Na₂CO₃, NaCl, K₂S, HCl,

ZnCl₂, 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 2.1

Tabel 2.1 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 :

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

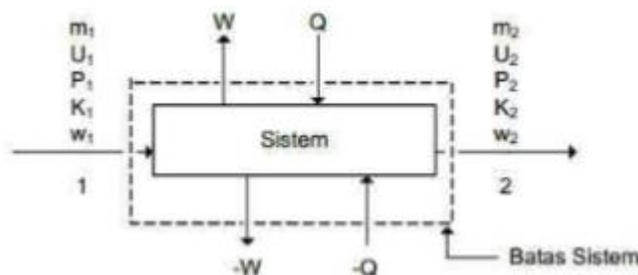
Dipilih aktivasi kimia menggunakan NaOH karena menghasilkan persen kehilangan massa setelah proses aktivasi yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan aktivator lain seperti H₂SO₄, HNO₃, K₂CO₃, ZnCl₂. NaOH juga menghasilkan *yield* karbon aktif TKKS yang lebih besar

dibandingkan dengan aktivator lain seperti $ZnCl_2$ dan K_2CO_3 (Rachmani et al., 2014).

2.5. Neraca Panas

Neraca panas merupakan cabang keilmuan yang mempelajari tentang kesetimbangan energi pada sebuah sistem, dan perhitungan neraca panas berdasarkan hukum pertama termodinamika yang disebut dengan kekekalan energi (Djamalu, 2016).

Proses perpindahan energi pada sistem secara umum digambarkan pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2. 1 Proses Energi Pada Sistem

Persamaan neraca panas secara umum dituliskan sebagai berikut:

[(Energi masuk)-(Energi keluar)+(Generasi energi)-(Konsumsi energi)]= [Akumulasi energi]

(Himmelblau, 1996)

Energi secara umum yang terlibat adalah energi (Q) dan kerja (W). Gambar 2.1 menunjukkan proses perpindahan energi pada suatu sistem. Pada keadaan 1, suatu bahan atau materi memiliki 4 buah energi yaitu energi potensial (P_1), energi kinetik (K_1), energi dalam (U_1), dan energi berupa kerja p_1v_1 (w_1) serta memiliki laju alir massa m_1 . Bahan atau materi kemudian melewati sistem tertentu, di mana bahan atau materi tersebut membutuhkan energi dari luar berupa energi ($-Q$) dan kerja ($-W$) atau sebaliknya, dapat menghasilkan energi berupa energi (Q) dan kerja (W). Setelah

melewati sistem, bahan atau materi tersebut berada pada keadaan 2, dimana materi tersebut memiliki energi berupa energi kinetik (K_2), Energi potensial (P_2), energi dalam (U_2), energi berupa kerja $p_2v_2(w_2)$ serta aliran massa memiliki laju alir massa m_2 .

Sehingga persamaan secara umum neraca panas menjadi:

$$(U_1 + K_1 + P_1) m_1 - (U_2 + K_2 + P_2) m_2 + Q + W + w_1 - w_2 = \Delta E$$

$$(U_1 + K_1 + P_1) m_1 - (U_2 + K_2 + P_2) m_2 + Q + W + (p_1v_1) m_1 - (p_2v_2) m_2 = \Delta E$$

Jika tidak ada perubahan laju alir massa dimana $m_1 = m_2 = m$ dan tidak terjadi akumulasi energi pada sistem, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$[(U_2 - U_1) + (K_2 - K_1) + (P_2 - P_1) + (p_2v_2) - (p_1v_1)] m = Q + W$$

$$[\Delta U + \Delta E_k + \Delta P + \Delta p v] m = Q + W$$

Apabila sistem berada pada tekanan tetap sehingga Terdapat hubungan ΔH ,

$$\Delta H = \Delta U + \Delta p v$$

(Smith, 2001)

$$[\Delta H + \Delta E_k + \Delta P] m = Q + W$$

(Himmelblau. 1996)

steady state berarti akumulasi dalam sistem = 0

Jika pada sistem perubahan energi kinetik dan energi potensial sangat kecil dibandingkan energi yang timbul akibat adanya reaksi maka nilai ΔE_k dan ΔP dapat diabaikan (bernilai nol) dan jika tidak ada kerja yang diberikan atau yang dihasilkan ke dan dari sistem maka persamaan neraca energi tersebut menjadi,

$$Q = -W$$

Hal tersebut berarti semua kerja yang dilakukan pada sistem tertutup, *steady state* akan ditransfer keluar sebagai panas ($-Q$). Akan tetapi tidak terjadi sebaliknya, Q tidak selalu dengan kerja yang dilakukan oleh sistem ($-W$).

Jika tidak ada energi yang timbul akibat perubahan fasa materi pada suatu sistem maka,

$$\Delta H \cdot m = Q$$

$$\Delta H = H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}}$$

$$Q = n \int_{T_{ref}}^{T_2} C_p dT_{\text{produk}} - \int_{T_{ref}}^{T_2} C_p dT_{\text{reaktan}}$$

keterangan

ΔH = Perubahan energi (kJ/kmol)

Q = Energi panas (kJ)

m = Kuantitas materi (kmol)

C_p = Kapasitas panas (kJ/mol.K)

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. Berdasarkan perhitungan neraca panas alat secara keseluruhan tidak ada selisih panas masuk dan keluar, maka neraca panas sistem berada pada kesetimbangan (*balance*). Artinya tidak ada panas yang terbuang.
2. Hasil perhitungan neraca panas di setiap alat proses sebagai berikut:
 - a. Laju alir panas di alat *Auger Pyrolizer* 2.416.577.642,911 kJ/hari
 - b. Laju alir panas di alat *Cooler* 77.454.089,240 kJ/hari
 - c. Laju alir panas di alat *Condenser* $1,093 \times 10^{10}$ kJ/hari
 - d. Laju alir panas di alat *Mixer-01* 1.375.735,959 kJ/hari
 - e. Laju alir panas di alat *Mixer-02* 36.964.678,070 kJ/hari
 - f. Laju alir panas di alat *Mixer 03* 38.589.055.423 kJ/hari
 - g. Laju alir panas di alat *Rotary kiln* $4,826 \times 10^{14}$ kJ/hari
 - h. Laju alir panas di alat *Grate cooler* 118.108.669 kJ/hari
 - i. Laju alir panas di alat *Washer* $4,317 \times 10^{11}$ kJ/hari
 - j. Laju alir panas di alat *Filter* 27.737.481.819 kJ/hari
 - k. Laju alir panas di alat *Rotary dryer* 460.055.081 kJ/hari
 - l. Laju alir panas di alat *Rotary cooler* .425.527.528 kJ/hari

5.2. Saran

Dapat dilakukan penelitian simulasi neraca panas menggunakan software hysys, sehingga hasil yang didapat lebih 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.