

KEMASAN AKTIF

Berbasiskan Arang Aktif Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit

Buku ini berisikan tentang potensi tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit dengan semakin menjamurnya pabrik pengolahan *crude palm oil* (CPO). Pada buku ini penulis menjelaskan secara rinci pembuatan arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Kemudian penulis juga menambahkan perhitungan neraca massa untuk pembuatan arang aktif.

Dengan demikian bagi pembaca yang berminat untuk mengembangkan arang aktif dapat mencobanya dengan membaca buku ini. Selain itu, untuk meningkatkan ilmu pengetahuan pembaca, maka buku ini menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi sistem kemasan aktif secara rinci dan lengkap.

Published by :



Office :

Jl. A. Yani. Sokajaya 59 Purwokerto
New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang
HP. 081 333 252 968 WA. 089 621 424 412
www.irdhcenter.com
email: buku.irdh@gmail.com

ISBN 978-623-7343-96-7



RINI HUSTIANY • ALIA RAHMI

Berbasiskan Arang Aktif Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit

2019



KEMASAN AKTIF

Berbasiskan Arang Aktif Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit



RINI HUSTIANY • ALIA RAHMI

**KEMASAN AKTIF BERBASISKAN ARANG AKTIF
TANDAN KOSONG DAN CANGKANG
KELAPA SAWIT**

RINI HUSTIANY

ALIA RAHMI

CV. IRDH

**KEMASAN AKTIF BERBASIS KAN ARANG AKTIF
TANDAN KOSONG DAN CANGKANG
KELAPA SAWIT**

Oleh : Rini Hustiany
Alia Rahmi
Perancang sampul : Yorim N Lasboi
Penata Letak : Agung Wibowo
Penyunting : Cakti Indra Gunawan
Pracetak dan Produksi : Yohanes Handrianus Laka

Hak Cipta © 2019, pada penulis

Hak publikasi pada CV IRDH

Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan Pertama Desember, 2019

Penerbit CV IRDH

Anggota IKAPI No. 159-JTE-2017

Office: Jl. Sokajaya No. 59, Purwokerto

New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang

HP 081 333 252 968 WA 089 621 424 412

www.irdhcenter.com

Email: buku.irdh@gmail.com

ISBN: 978-623-7343-96-7

i-xiiiint + 91 hlm, 25 cm x 17.6 cm

KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan buku referensi hasil beberapa penelitian yang kami lakukan sejak tahun 2017 sampai 2019. Ada sebanyak 12 mahasiswa bimbingan penulis yang telah menyelesaikan tugas akhirnya dengan tema yang sesuai dengan peta jalan penelitian penulis. Dan masih ada 4 orang mahasiswa bimbingan penulis yang sedang menyelesaikan penelitian yang sesuai dengan tema buku ini.

Penulis sangat berterima kasih dengan semua bimbingan penulis yang telah banyak memberikan kontribusinya untuk isi dari tulisan ini. Mereka harus dituliskan di awal isi buku ini. Mereka adalah Fitrianti Purwanti, Wahdah, Sumiati, Bunga Anisa Putri, Muhammad Abdul Hadi, Annisa Yasmin Arif, Riduan Ramdhani, Listiana Ningrum, Muhammad Amrullah, Markiah, Tiara Zulfa Rizkia dan Galuh Junni Arnisa. Juga tidak lupa kepada mereka yang segera menyusul untuk menyelesaikan tugas akhirnya, yaitu Jabal Nursito, Muhammad, Alfiyanur Rahmatullah dan Reza Pahlevi. Tanpa kalian kami penulis tidak ada apa-apanya.

Hasil penelitian yang tertulis di buku ini adalah sesuatu yang sangat penting untuk membantu kemajuan masyarakat Indonesia pada umumnya. Dengan peta jalan penelitian yang berhubungan dengan kemasan aktif dan arang aktif tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit, maka kami mendapatkan 3 hibah pendanaan penelitian. Yang pertama adalah Indofood Riset Nugraha (IRN) 2018 untuk Markiah, kedua adalah Penelitian Dasar melalui dana penelitian DRPM

Kemenristekdikti 2019-2020, dan ketiga adalah Indofood Riset Nugraha (IRN) 2019 untuk Muhammad.

Buku ini berisikan tentang potensi tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit dengan semakin menjamurnya pabrik pengolahan crude palm oil (CPO). Pada buku ini penulis menjelaskan secara rinci pembuatan arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Kemudian penulis juga menambahkan perhitungan neraca massa untuk pembuatan arang aktif. Dengan demikian bagi pembaca yang berminat untuk mengembangkan arang aktif dapat mencobanya dengan membaca buku ini. Selain itu, untuk meningkatkan ilmu pengetahuan pembaca, maka buku ini menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi sistem kemasan aktif secara rinci dan lengkap.

Di akhir kata, penulis sangat mengharapkan buku ini dapat diterima masyarakat secara luas, bukan hanya akademisi dan intelektual, tetapi juga diperuntukkan untuk seluruh kalangan. Amin...

Banjarbaru, Desember 2019

Rini Hustiany dan Alia Rahmi

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR GAMBAR	IV
DAFTAR TABEL.....	VII
BAB 1 TANDAN KOSONG DAN CANGKANG KELAPA SAWIT	1
BAB 2 ARANG AKTIF.....	5
A. Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	5
B. Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit.....	15
C. Rendemen Arang Aktif	25
BAB 3 KEMASAN AKTIF	26
A. Jenis Bahan atau Produk yang Dikemas Aktif	27
B. Bahan Pengemas Primer Kemasan Aktif	48
C. Bahan Pengemas Bahan Aktif.....	57
D. Jenis Bahan Aktif.....	63
E. Jumlah Bahan Aktif	71
KESIMPULAN.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76
GLOSARIUM.....	84
INDEKS.....	86
TENTANG PENULIS	88

DAFTAR GAMBAR

1	Preparasi TKKS untuk bahan pembuatan arang aktif. (A) TKKS, (B) proses pemotongan TKKS, (C) proses TKKS menjadi serabut	6
2	Mesin pencabik serat tandan kosong kelapa sawit.....	6
3	Perendaman TKKS yang telah dikecilkan ukurannya	7
4	Proses pengeringan serat TKKS. (A) pengeringan TKKS dengan oven; (B). Pengeringan TKKS dengan sinar matahari, (C) TKKS kering	8
5	Neraca massa tahap preparasi.....	9
6	Pirolisis TKKS menjadi arang. A. Alat pirolisis kapasitas 10 kg; B. Arang hasil pirolisis	10
7	Neraca massa tahap karbonasi	10
8	(A) TKKS kering, (B) Arang TKKS	11
9	Arang TKKS yang telah diayak dengan ukuran 80 mesh. A. Arang TKKS ditumbuk dengan alu; B. Ukuran arang TKKS yang masih kasar, C. Arang TKKS diayak dengan ayakan 80 mesh.....	12
10	Perendaman arang dengan asam fosfat 20%	14
11	A. Penyaringan dan pencucian arang aktif menggunakan panyaring vakum; B. Pengeringan arang aktif dengan oven; C. Aktivasi arang aktif dengan tanur	14
12	Neraca massa tahap aktivasi	15
13	Pengeringan cangkang kelapa sawit dengan sinar matahari	16
14	Neraca massa pada proses pengeringan dan sortasi	16
15	Arang cangkang kelapa sawit. A. Arang setelah dikeluarkan dari pirolisis; B. Arang yang telah ditumbuk	18
16	Neraca massa proses karbonasi	19
17	Neraca Massa Proses Aktivasi.....	23

18	Pola susut bobot pada berbagai jenis pisang yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A-C. Pisang Talas; D. Pisang Mauli; E-F. Pisang Kepok	32
19	Pola susut bobot pada berbagai jenis pepaya yang dikemas aktif. A. Pepaya Hawaii; B. Pepaya California	33
20	Pola perubahan edible part pada pisang dan pepaya yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A. Pisang Talas; B. Pisang Kepok; C. Pepaya California	35
21	Pola kadar air pada berbagai jenis pisang yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A-B. Pisang Talas; C-D. Pisang Kepok; E. Pisang Mauli	38
22	Pola kadar air pada berbagai jenis pepaya yang dikemas aktif. A. Pepaya Hawaii; B. Pepaya California	40
23	Pola total padatan terlarut (TSS) pada berbagai jenis pisang yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A-C. Pisang Talas; D. Pisang Mauli; E-F. Pisang Kepok	41
24	Pola total padatan terlarut (TSS) pada berbagai jenis pepaya yang dikemas aktif. A. Pepaya Hawaii; B. Pepaya California	43
25	Pola kadar gula pereduksi pada berbagai jenis pisang yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A-C. Pisang Talas; D. Pisang Kepok; E. Pepaya California	44
26	Pola total asam pada berbagai jenis pisang yang dikemas aktif selama penyimpanan pada suhu ruang. A-B. Pisang Talas; C. Pisang Mauli; D-E. Pisang Kepok	47
27	Pola total asam pada berbagai jenis pepaya yang dikemas aktif. A. Pepaya Hawaii; B. Pepaya California	48
28	Contoh kemasan primer pada buah dan sayuran yang tertutup keseluruhan pada sistem kemasan aktif	50

29	Buah pepaya yang dikemas dengan kertas tertutup yang ditumbuhi oleh kapang.....	50
30	Contoh kemasan primer pada buah yang tertutup sebagian untuk sistem kemasan aktif	54
31	Pepaya yang disimpan dengan kemasan primer daun pisang pada sistem kemasan aktif. A. Penyimpanan 10 hari; B. Penyimpanan 14 hari.	55
32	Pepaya yang disimpan dengan kemasan primer foam net pada sistem kemasan aktif. A. Penyimpanan 10 hari; B. Penyimpanan 14 hari.	55
33	Pisang yang disimpan dengan kemasan primer pada sistem kemasan aktif. A. Daun pisang, penyimpanan 10 hari; B. foam net, penyimpanan 16 hari.	56
34	Pengemas Bahan Aktif. A. Kain saring; B. Kantong teh; C. LDPE; D. Kertas glasin; E. Metalized aluminium plastik	58
35	(A) Asam fosfat, (B) Fosfat anhidrat	66

DAFTAR TABEL

1 Koefisien permeabilitas berbagai jenis plastik pada suhu 25°C.....	52
2 Rata-rata Transmisi O ₂ dan H ₂ O pada berbagai Jenis Plastik	59
3 Karakteristik kandungan arang aktif TKKS dengan aktivator H ₃ PO ₄ 20%. 64	
4 Karakteristik kandungan arang aktif cangkang kelapa sawit dengan berbagai jenis aktivator	69
5 Laju produksi gas etilen produk hortikultura.....	71

BAB 1

TANDAN KOSONG DAN CANGKANG KELAPA SAWIT

Kelapa sawit adalah tanaman sangat banyak ditanam di Indonesia. Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2017 diperkirakan mencapai 12,30 juta hektar dengan produksi 34,47 juta ton CPO (*Crude Palm Oil*). Adapun di Kalimantan Selatan berdasarkan data dari Dinas Perkebunan dan Peternakan pada tahun 2018 terdapat 409.838 hektar yang terdiri dari perkebunan rakyat, perkebunan besar negara, dan perkebunan besar swasta. Dari 409.838 Ha ini diproduksi menjadi CPO di 37 Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dengan kapasitas terpasang sebesar 1.865 ton TBS (Tandan Buah Sawit)/jam.

Pada proses pengolahan CPO, maka akan dihasilkan CPO, *palm kernel*, tandan kosong kelapa sawit, cangkang sawit, serat, *sludge*, dan air yang teruapkan. Perhitungan neraca massa pada produksi CPO dengan studi kasus di salah satu pabrik yang ada di Kalimantan Selatan, maka dapat dijelaskan dengan asumsi TBS yang masuk adalah 100 ton (Nursito, 2018). Sebanyak 100 ton TBS masuk ke dalam pabrik kemudian dilakukan proses sterilisasi dengan menginjeksikan uap panas sebanyak 26%, mengeluarkan air kondensat sebesar 20% yang akan dimasukkan kembali ke dalam proses *recovery* pemurnian minyak, dan menguapkan sebanyak 13% gas ke lingkungan. Dari proses sterilisasi ini akan dihasilkan TBS sebanyak 87 ton yang selanjutnya dimasukkan ke dalam *thresher* atau pembrodolan. Keluar dari *thresher*, maka dihasilkan 64 ton (64% dari TBS) buah sawit yang sudah dibrodol dan 23 ton (23% dari TBS) tandan kosong kelapa sawit. Dari 64 ton buah

sawit yang masuk ke dalam proses *presser* dan diinjeksikan *steam* sebanyak 25%, maka dihasilkan 11 ton (11 %) *nut*, 13,5 ton (13,5 %) serat, dan 39,5 ton (39,5 %) CPO kasar. CPO kasar kemudian dimurnikan dan dihasilkan sebanyak 23,5 ton CPO dan sisanya adalah *sludge* sekitar 14,6 ton dan minyak yang didaur ulang. Dari sisi lain, maka *nut* sebanyak 11 ton dipisahkan menjadi *palm kernel* sebanyak 4,8 ton (4,8%) dan cangkang kelapa sawit sebanyak 5,2 ton (5,2 %).

Berdasarkan dari neraca massa pengolahan CPO tersebut, maka jumlah TKKS yang dihasilkan adalah 23%, serat 13,5%, dan cangkang kelapa sawit sebanyak 5,2%. Apabila di Kalimantan Selatan diproduksi TBS menjadi CPO sebanyak 1.865 ton TBS/jam, maka akan dihasilkan sebanyak 428,95 ton TKKS/jam, 251,76 ton serat/jam, dan 96,98 ton cangkang kelapa sawit/jam.

Selama ini pabrik CPO menggunakan serat dan cangkang kelapa sawit untuk bahan baku boiler. Walaupun sudah dimanfaatkan, masih banyak cangkang kelapa sawit yang belum dimanfaatkan. Karena cangkang kelapa sawit lebih bersifat sebagai cadangan untuk bahan baku boiler. Walaupun cangkang kelapa sawit dapat dijual ke perusahaan-perusahaan yang bukan penghasil kelapa sawit dan digunakan untuk pembakaran boiler.

Adapun tandan kosong kelapa sawit digunakan oleh pihak perusahaan untuk mulsa (Hendrayana, 2016). Pemberian TKKS sebagai mulsa untuk pohon kelapa sawit dilakukan dengan cara penebaran tandan kosong kelapa sawit pada gawangan mati dari jalur pokok sampai batas piringan. Gawangan mati adalah gang/lahan kosong yang berfungsi sebagai tempat pengolahan mulsa untuk tanaman kelapa sawit. Ukuran

gawangan mati adalah panjang 3 m, lebar 1 m, dan tinggi 50 cm dengan kapasitas 40 ton tandan kosong kelapa sawit. Mulsa yang dihasilkan sekitar 6 bulan, kemudian diletakkan pada piringan tanaman kelapa sawit dengan jarak 30 cm dari batang pohon. Selain sebagai mulsa, maka TKKS juga dapat digunakan untuk tempat tumbuhnya jamur. Menurut Nursito (2018), pemanfaatan TKKS hanya 10% dari total TKKS yang dihasilkan, sehingga masih banyak TKKS yang menumpuk di areal sekitar pabrik dan kebun kelapa sawit.

Karena TKKS dan cangkang kelapa sawit adalah sumber selulosa, hemiselulosa, dan lignin, maka TKKS dan cangkang kelapa sawit dapat dibuat menjadi arang dan selanjutnya arang dijadikan arang aktif. Teknologi pembuatan arang dan arang aktif dari TKKS dan cangkang kelapa sawit sudah sangat banyak. Aplikasi dari arang aktif yang dihasilkan biasanya digunakan untuk penjernihan air, penjernihan minyak, dan pengikatan limbah yang mengandung mineral tinggi. Akan tetapi belum ada yang memanfaatkan arang aktif yang dihasilkan dari TKKS dan cangkang kelapa sawit untuk dijadikan sebagai bahan aktif pada sistem kemasan aktif. Terutama sistem kemasan aktif untuk produk hortikultura, seperti buah-buahan dan sayur-sayuran, dan pada produk olahan yang berasal dari kacang-kacangan. Selama ini bahan aktif untuk sistem kemasan aktif menggunakan bahan-bahan kimia.

Arang aktif dapat dijadikan sebagai kemasan aktif. Menurut van Dogen *et al.*, (2007), pasar global kemasan aktif dari tahun ke tahun semakin meningkat. Negara yang paling banyak memanfaatkan kemasan aktif adalah Jepang, Amerika Serikat dan disusul negara-negara di

Eropa. Kemasan aktif dapat berupa silika gel, *clay*, dan karbon aktif (Scully *et al.*, 2007).

BAB 2

ARANG AKTIF

Ada beberapa tahapan proses pengolahan arang aktif yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan cangkang kelapa sawit, yaitu preparasi, karbonasi, dan aktivasi.

A. Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses preparasi merupakan proses yang dilakukan untuk memperoleh TKKS kering dari TKKS basah yang diperoleh di pabrik kelapa sawit. Proses preparasi terdiri dari proses pengecilan ukuran dan penserabutan (Gambar 1), perendaman dengan air panas, dan proses pengeringan. TKKS merupakan tandan yang ukurannya cukup besar untuk setiap tandannya. Kurang lebih berat dalam satu tandan kosong kelapa sawit adalah 3 kg. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecilan ukuran untuk memperbesar luas permukaan TKKS, sehingga dapat meningkatkan transfer panas pada proses karbonasi. Pengecilan ukuran yang dilakukan tidak hanya dipotong-potong menjadi ukuran yang lebih kecil, yaitu kurang lebih 5 cm. Akan tetapi juga dilakukan pencabikan untuk memisahkan bagian serat-serat dari tandan kosong kelapa sawit. Karena tandan kosong kelapa sawit merupakan kumpulan serat yang saling menyatu. Proses pengecilan ukuran dapat dilakukan secara manual, yaitu menggunakan tangan. Cara manual memerlukan waktu yang lama. Oleh karena itu dalam proses pengecilan ukuran serabut TKKS juga dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pencabik,

sehingga waktu yang digunakan tidak terlalu lama dan pekerjaannya juga menjadi tidak berat (Gambar 2).



Gambar 1 Preparasi TKKS untuk bahan pembuatan arang aktif. (A) TKKS, (B) proses pemotongan TKKS, (C) proses TKKS menjadi serabut



Gambar 2 Mesin pencabik serat tandan kosong kelapa sawit

Serat-serat TKKS yang sudah dikecilkan dan dicabik-cabik menjadi serat-serat yang tipis dan panjang, selanjutnya direndam dalam

air panas selama 5 sampai 10 menit (Gambar 3). Proses perendaman dengan air panas dilakukan untuk menghilangkan sisa minyak yang masih menempel pada TKKS. Jumlah minyak yang banyak pada TKKS dapat mengganggu proses karbonasi, karena akan menjadi hambatan terhadap panas menuju ke bagian pusat dari sampel yang akan dikarbonasi.

Setelah dilakukan perendaman dalam air panas, serat TKKS kemudian ditiriskan dan dikeringkan. Apabila TKKS yang diperoleh dari pabrik CPO (Crude Palm Oil) sudah dilakukan pemerasan bagian minyak yang tersisa pada TKKS, maka TKKS tidak perlu dilakukan perendaman dalam air panas, akan tetapi bisa langsung dilakukan proses pengeringan (Gambar 4). Proses pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan oven atau dengan menggunakan pengeringan sinar matahari. Proses pengeringan berfungsi untuk memudahkan proses karbonasi dan memperkecil volume bahan baku. Apabila kadar air terlalu tinggi, maka proses karbonasi akan berjalan lebih lama, karena harus dilakukan penguapan air terlebih dahulu, sebelum terjadi pembakaran terhadap karbon yang terdapat pada serat TKKS.



Gambar 3 Perendaman TKKS yang telah dkecilkan ukurannya

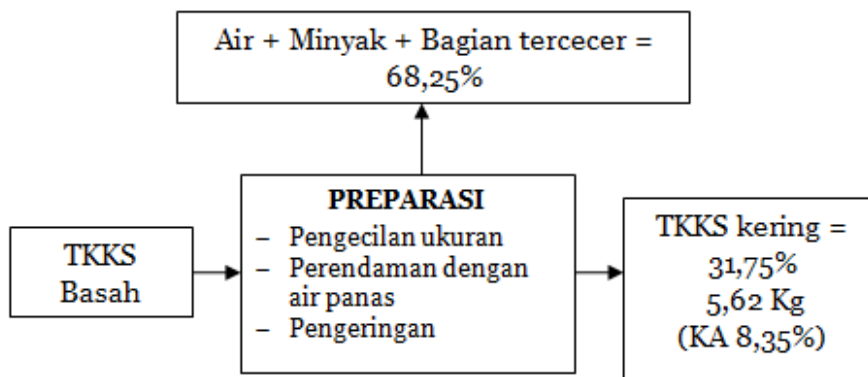
Rendemen proses preparasi dari TKKS basah menjadi TKKS kering (kadar air 8,35%), yaitu sebesar 31,75%. Sebagian besar yang hilang selama preparasi adalah air, lepasnya minyak serta bagian yang tidak digunakan pada TKKS. Neraca massa tahap preparasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Proses pengeringan serat TKKS. (A) pengeringan TKKS dengan oven; (B). Pengeringan TKKS dengan sinar matahari, (C) TKKS kering

Setelah TKKS selesai preparasi, maka TKKS dilakukan proses karbonasi atau pengarangan. Karbonasi atau pengarangan merupakan proses penghilangan komponen-komponen yang mudah menguap dan bergabungnya sebagian senyawa-senyawa karbon membentuk suatu

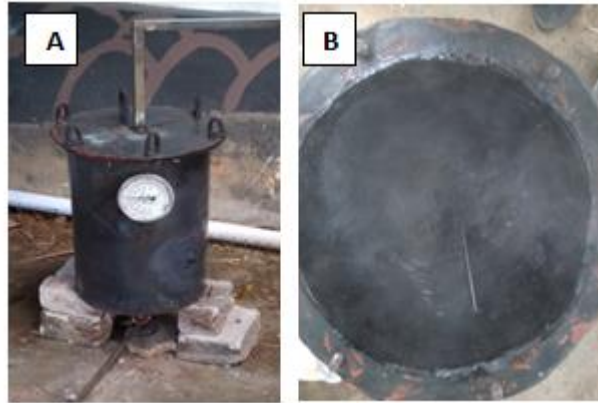
kristalit (Sofaeti, 2009). Selama proses karbonasi, sebagian besar unsur-unsur non-karbon, hidrogen dan oksigen yang pertama dihilangkan dalam bentuk gas oleh dekomposisi pirolitik bahan baku, dan atom bebas dari karbon dasar bergabung menjadi susunan formasi kristalografi yang juga dikenal sebagai kristalit grafit dasar. Susunan dasar kristalit tersebut tidak teratur, sehingga terdapat celah diantaranya (Derbyshier *et al.*, 1995 *dalam* Manocha, 2003). Proses karbonasi dilakukan dengan menggunakan alat pirolisis (Gambar 6) pada suhu 300 °C selama 5 jam.



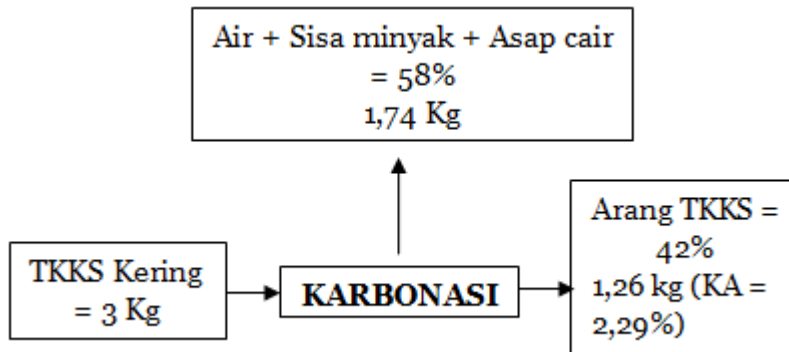
Gambar 5 Neraca massa tahap preparasi

Prinsip karbonasi dengan menggunakan alat pirolisis adalah pembakaran dengan oksigen terbatas, sehingga arang tidak teroksidasi dan tidak membentuk abu. Rendemen TKKS kering menjadi arang dari proses karbonasi yang dihasilkan sebesar 41,5%, hasil tersebut tidak jauh berbeda dengan rendemen arang TKKS yang dihasilkan menurut Sukiran *et al.* (2009) pada suhu 300°C sebesar 42%, akan tetapi proses pirolisis yang dilakukan oleh Sukiran *et al.* (2009), memerlukan waktu yang lebih singkat, yaitu hanya 1 jam karena proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan fluidized bed reactor sehingga proses pemanasan

lebih sempurna. Neraca massa tahap karbonasi dapat dilihat pada Gambar 7.

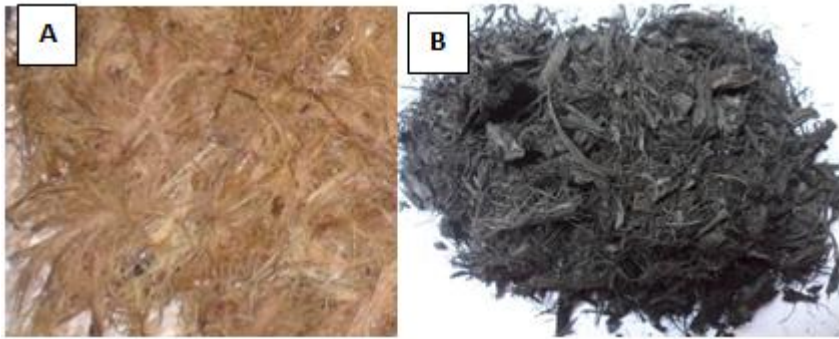


Gambar 6 Pirolisis TKKS menjadi arang. A. Alat pirolisis kapasitas 10 kg; B. Arang hasil pirolisis



Gambar 7 Neraca massa tahap karbonasi

Selama proses karbonasi terjadi penguapan air dan minyak, serta penguraian komponen kayu menjadi asap cair. TKKS kering yang telah dikarbonasi menjadi berwarna hitam dengan tekstur rapuh, hal tersebut terjadi karena selama proses karbonasi terjadi penguraian komponen kayu, seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang terdapat pada TKKS (Gambar 8).



Gambar 8 (A) TKKS kering, (B) Arang TKKS

Proses pengarangan atau karbonasi ada 4 tahap (Sudrajat dan Soleh, 1994), yaitu :

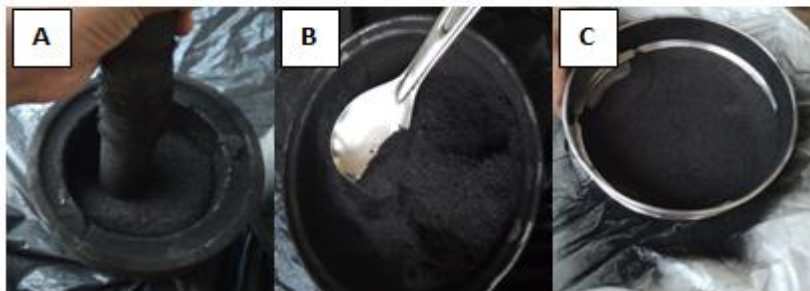
1. Pada suhu 100 – 120°C terjadi penguapan air dan sampai suhu 270°C mulai terjadi penguapan selulosa. Destilat yang dihasilkan mengandung asam organik dan sedikit metanol.
2. Pada suhu 270 - 310°C reaksi eksotermik berlangsung, terjadi penguraian selulosa secara intensif menjadi larutan pirolignat , gas, kayu, dan sedikit ter. Asam pirolignat merupakan asam organik dengan titik didih rendah, seperti asam cuka dan metanol, sedangkan gas kayu terdiri atas CO dan CO₂.
3. Pada suhu 310 – 510°C terjadi penguraian lignin, dihasilkan lebih banyak ter, sedangkan larutan pirolignat menurun, dan produksi gas CO₂ menurun, sedangkan gas CO, CH₄, dan H₂ meningkat.
4. Pada suhu 500 – 1000°C merupakan tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon.

Pirolisis ialah salah satu proses pengarangan yang mendekomposisi material organik tanpa mengandung oksigen. Apabila

ada oksigen pada saat proses pirolisis, maka akan ada reaksi dengan material lain yang pada akhirnya akan menghasilkan abu.

Proses pirolisis berlangsung dalam dua tahapan, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer terdiri dari proses cepat yang terjadi pada suhu 50 – 300°C, dan proses lambat pada suhu 300 – 400°C. Proses pirolisis primer cepat menghasilkan arang, berbagai gas, dan H₂O. Adapun proses lambat menghasilkan arang, H₂O, CO, dan CO₂. Pirolisis sekunder merupakan proses pirolisis yang berlangsung pada suhu lebih dari 600°C dan menghasilkan CO, H₂, dan hidrokarbon (Pari, 2004).

Arang TKKS yang diperoleh dari proses karbonasi selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan alu dan diayak dengan ukuran 80 mesh (Gambar 9). Hal tersebut bertujuan untuk memperluas permukaan kontak pada proses aktivasi.



Gambar 9 Arang TKKS yang telah diayak dengan ukuran 80 mesh. A. Arang TKKS ditumbuk dengan alu; B. Ukuran arang TKKS yang masih kasar, C. Arang TKKS diayak dengan ayakan 80 mesh

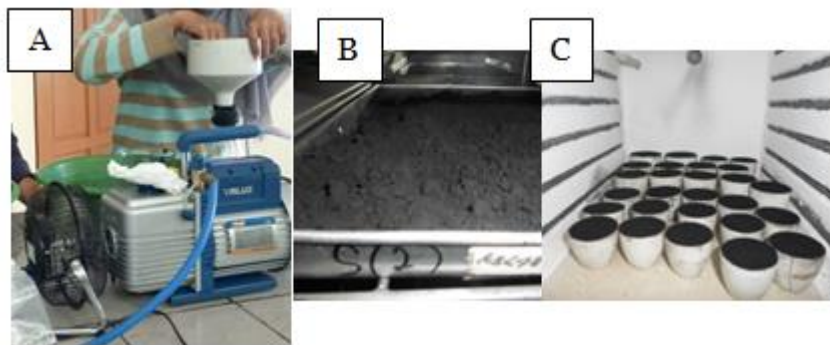
Arang yang diperoleh dari proses karbonasi memiliki daya adsorpsi yang rendah karena sebagian pori masih tertutup tar dan senyawa hidrokarbon yang dapat menghambat proses adsorpsi, sehingga

perlu dilakukan proses aktivasi. Salah satu aktivator yang aman untuk digunakan pada bahan pangan adalah asam fosfat dengan konsentrasi 20%. Aktivasi dilakukan dengan menggunakan tanur pada suhu 500°C selama 30 menit. Kondisi seperti ini menghasilkan arang aktif terbaik dengan karakteristik kadar abu dan kadar zat terbang yang rendah, tetapi mengandung kadar karbon dan daya jerap terhadap iod yang tinggi, serta daya adsorpsi terhadap Fe^{3+} dan Cu^{2+} yang juga relatif tinggi dibandingkan apabila arang aktif diaktivasi dengan konsentrasi asam fosfat 10 dan 15% dan diaktivasi selama 60 dan 90 menit (Rayyani, 2014).

Arang yang berukuran 80 mesh, kemudian direndam dalam larutan asam fosfat 20% selama 24 jam (Gambar 10). Untuk menghindari arang menjadi mengapung maka dilakukan pengadukan pada saat perendaman berlangsung, selain itu juga diharapkan dengan dilakukannya pengadukan maka proses aktivasi akan semakin sempurna. Setelah 24 jam arang disaring dengan menggunakan penyaring vakum (Gambar 11a). Sebelum ditanur, maka arang hasil saringan terlebih dahulu dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 6 jam (Gambar 11b). Pengeringan arang yang telah direndam dengan asam fosfat bertujuan untuk mengurangi air yang ada di dalam arang. Apabila arang sudah kering, maka proses pentanuran tidak terganggu (Gambar 11C), sehingga proses aktivasi arang lebih bagus.

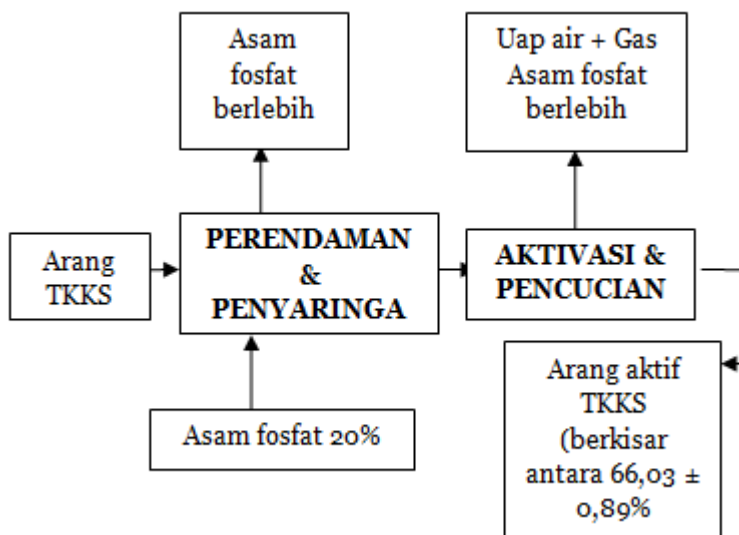


Gambar 10 Perendaman arang dengan asam fosfat 20%



Gambar 11 A. Penyaringan dan pencucian arang aktif menggunakan panyaring vakum; B. Pengeringan arang aktif dengan oven; C. Aktivasi arang aktif dengan tanur

Aktivasi arang dengan menggunakan tanur selama 30 menit. Setelah diaktivasi, arang sudah diaktivasi selanjutnya dicuci dengan aquades sampai pH 6 atau pH netral. Tujuan dari pencucian ini, agar asam fosfat yang tidak berikatan dengan arang, dapat dibuang dari arang. Adanya asam fosfat yang masih bebas tersisa pada arang, maka akan mengganggu proses adsorpsi dari arang. Neraca massa tahap aktivasi dapat dilihat pada Gambar 12. Rendemen arang aktif yang diperoleh adalah sekitar 66%.



Gambar 12 Neraca massa tahap aktivasi

Menurut Garcia et al. (2002) dalam Foo dan Lee (2010) asam fosfat dapat menyatukan material organik dengan membentuk jembatan fosfat dan polifosfat yang menghubungkan patahan biopolimer, kemudian mencegah penyusutan material pada peningkatan temperatur. Oleh karena itu semakin tinggi konsentrasi asam fosfat yang ditambahkan, maka akan semakin banyak jembatan fosfat yang terbentuk dan dapat mencegah penyusutan material yang hilang pada saat aktivasi pada suhu 500°C.

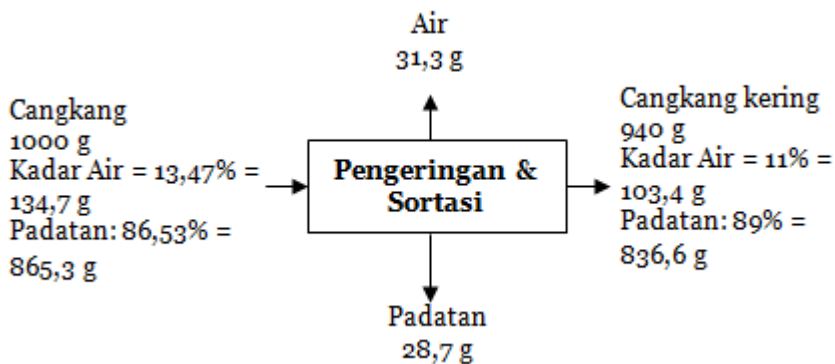
B. Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit

Kadar air cangkang kelapa sawit adalah 13,47%. Berdasarkan hasil kadar air tersebut, maka cangkang perlu dilakukan pengeringan dengan menggunakan sinar matahari selama satu hari saat cuaca panas. Pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalam cangkang. Menurut Gustama (2012) kadar air bahan dapat

mempengaruhi proses karbonasi dan jumlah arang yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar air bahan, maka bobot arang yang dihasilkan semakin rendah. Menurut Sudrajat dan Pari (2011), adanya air pada bahan mengurangi rendemen arang dan proses karbonasi akan berlangsung lebih lama. Proses pengeringan cangkang dapat dilihat pada Gambar 13. Selain proses pengeringan juga dilakukan proses sortasi pada cangkang kelapa sawit agar nantinya yang masuk pada proses pirolisis hanya cangkang kelapa sawit tanpa padatan lainnya. Neraca massa pada proses pengeringan dan sortasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13 Pengeringan cangkang kelapa sawit dengan sinar matahari



Gambar 14 Neraca massa pada proses pengeringan dan sortasi

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa air yang hilang atau menguap selama proses pengeringan adalah 23,2% dari jumlah air 134,7 g. Adapun pada proses sortasi untuk padatan selain cangkang kelapa sawit yang dipisahkan sebanyak 3,3% dari jumlah padatan sebanyak 865,3 g. Selain itu, rendemen cangkang kering dapat dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir (berat cangkang kering) dengan berat awal (berat cangkang basah yang digunakan) dikalikan 100%.

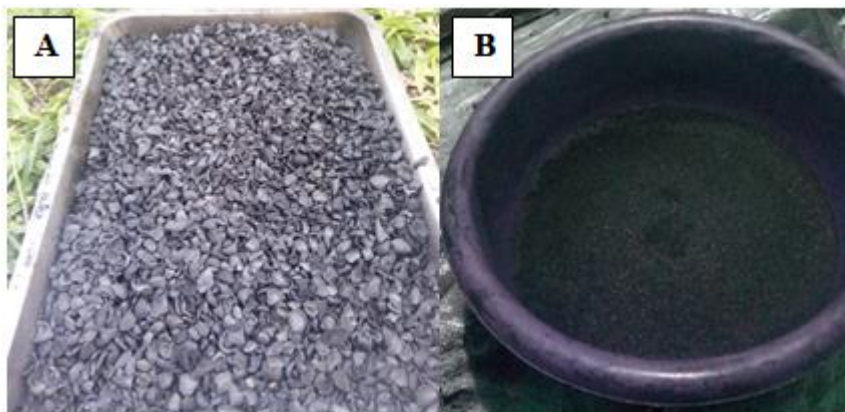
Rendemen = $\frac{\text{Berat cangkang kering}}{\text{Berat cangkang basah}} \times 100\%$

$$= \frac{940 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 94\%$$

Rendemen cangkang kelapa sawit yang sudah dilakukan proses sortasi dan pengeringan adalah 94%. Cangkang kelapa sawit yang telah dianalisis kemudian dikarbonasi atau diarangkan dengan menggunakan alat pirolisis pada suhu 300oC selama 5 jam, sampai yang tertinggal hanya karbon atau arang sebagai residu. Pada proses karbonasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam cangkang kelapa sawit dipecahkan dan membentuk arang. Karbonasi adalah proses pemecahan/peruraian selulosa menjadi karbon. Menurut Gustama (2012) salah satu faktor yang harus dipertimbangkan pada proses karbonisasi atau pirolisis adalah bahan baku (jenis biomassa, ukuran, kadar air, permeabilitas, dan kapasitas panas), suhu dan laju pemanasan, serta sumber energi panas dan jenis tungku yang digunakan. Proses karbonisasi terdiri dari empat tahap, yaitu pada suhu 100 – 120oC terjadi penguapan air dan sampai suhu 270oC mulai terjadi peruraian selulosa. Distilat mengandung asam organik dan sedikit methanol. Asam cuka

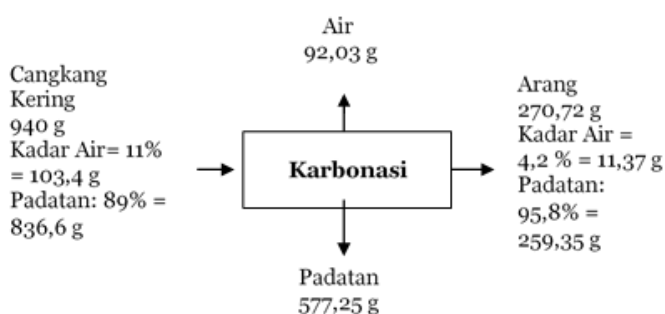
terbentuk pada suhu 200-270oC. Pada suhu 270-310oC reaksi eksotermik berlangsung. Pada proses tersebut terjadi peruraian selulosa secara intensif menjadi larutan piroligant, gas kayu dan sedikit tar. Asam merupakan asam organik dengan titik didih rendah, seperti asam cuka dan methanol, sedang gas kayu terdiri dari CO dan CO2. Pada suhu 310-500oC terjadi peruraian lignin, dihasilkan lebih banyak tar, sedangkan larutan pirolignat menurun, gas CO2 menurun sedangkan gas CO dan CH4 dan H2 meningkat. Pada suhu 500-1000oC merupakan tahap dari pemurnian arang atau kadar karbon (Sudrajat dan Soleh, 1994). Hasil arang dari cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Arang cangkang kelapa sawit. A. Arang setelah dikeluarkan dari pirolisis; B. Arang yang telah ditumbuk

Arang yang didapatkan kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan menggunakan lesung kecil sampai ukuran mengecil, selanjutnya arang tersebut diayak dengan menggunakan ayakan 80 mesh. Pengecilan ukuran dilakukan untuk memperluas luas permukaan arang. Permukaan arang aktif yang semakin luas berdampak pada semakin tingginya daya jerap terhadap cairan atau bahan gas (Kirk dan Othmer, 1964).

Selanjutnya arang cangkang kelapa sawit dilakukan analisa kadar air untuk mengetahui karakteristik arang sebelum diaktifkan menjadi arang aktif. Hasil kadar air arang cangkang kelapa sawit yang didapat adalah 4,07% apabila dibandingkan dengan kadar air bahan sebelum karbonasi, kadar air arang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena pada saat proses karbonasi tersebut terjadi penguapan beberapa komponen, salah satunya penguapan air. Menurut Gustama (2012) pada proses karbonasi bukan hanya air yang terjadi penguapan melainkan komponen lain, seperti asam, metanol, tar, dan penguraian selulosa. Akan tetapi kadar karbon terikat mengalami peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan kadar karbon terikat sebelum dikarbonisasi. Kadar karbon terikat cangkang sebelum karbonasi 16,35% (bk), sedangkan kadar karbon terikat arang adalah 71,58% (bk). Hal ini disebabkan karena rendahnya nilai kadar abu dan kadar zat terbang arang yang disebabkan proses karbonasi. Berdasarkan kandungan karbon terikat pada arang cangkang kelapa sawit maka berpotensi untuk dijadikan arang aktif. Neraca massa pada proses karbonasi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Neraca massa proses karbonasi

Padatan yang dilepaskan selama proses karbonasi berbentuk aerosol, yaitu partikel padat yang terikat bersama asap. Asap hasil

karbonasi biasanya dapat dijadikan sebagai asap cair, adapun komponen yang terkandung dalam asap cair cangkang kelapa sawit menurut Novari *et al.* (2014) adalah asam propinoat (42,97%), nitrogen oksida (10,80%), tetracosahexaene (7,45%), 2-heptanamina (6,48%), asam asetat (3,92%) dan sejumlah kecil komponen lain yang masih mengandung asam.

Rendemen arang yang dihasilkan dari proses karbonasi dapat dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir dengan berat awal dikalikan 100%.

$$\begin{aligned}\text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat arang}}{\text{Berat cangkang kering}} \times 100\% \\ &= \frac{270,72 \text{ g}}{940 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 28,8 \%\end{aligned}$$

Rendemen ini dipengaruhi oleh nilai kadar abu dan kadar zat terbang pada bahan. Berdasarkan penelitian Gustama (2012) kadar abu dan kadar zat terbang pada cangkang kelapa sawit adalah 5,38% (bk) dan 78,26% (bk). Semakin tinggi nilai kadar abu dan kadar zat terbang, maka rendemen arang semakin rendah. Besarnya rendemen arang dipengaruhi proses karbonasi. Apabila proses karbonasi dilakukan dengan menggunakan alat pirolisis secara vakum, maka rendemen arang yang dihasilkan akan semakin meningkat dibandingkan proses karbonasi tidak dilakukan secara vakum, maka arang yang dihasilkan akan rendah karena adanya pengaruh udara. Udara yang cukup besar pada proses karbonasi menyebabkan bahan mengalami oksidasi secara berlebih, sehingga terbentuk abu yang cukup banyak dibandingkan dengan arang. Hasil samping proses karbonasi bahan dengan sistem vakum adalah terbentuknya asap cair. Asap cair tersebut terbentuk karena proses pendinginan asap dengan kondensor. Menurut Pari (2010), rendemen

arang dapat berkurang disebabkan karena komponen bahan terbang dalam bentuk CO₂, CO, dan CH₄ yang semakin meningkat.

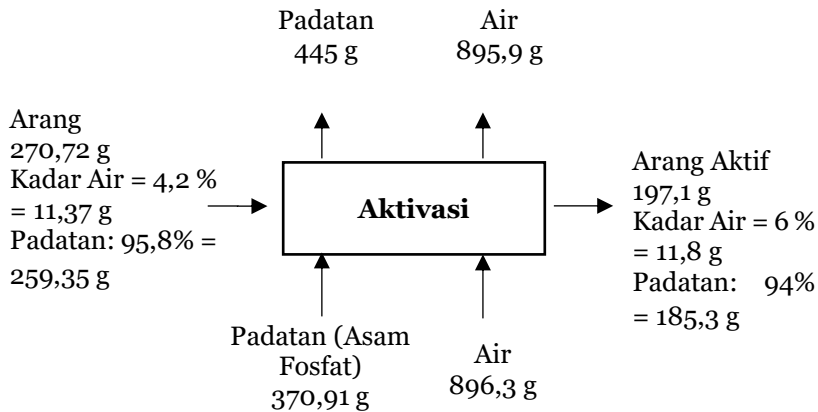
Setelah proses karbonasi, selanjutnya dilakukan proses aktivasi untuk memperbesar luas bidang penjerapan. Arang dapat menjadi arang aktif melalui proses aktivasi menggunakan suhu tinggi dan ditambahkan dengan aktivator, salah satunya aktivator kimia. Fungsi proses aktivasi, baik fisika maupun kimia, adalah untuk memecahkan ikatan hidrokarbon pada arang sehingga pori arang akan bertambah luas (Faradina dan Setiawati, 2010). Salah satu aktivator kimia yang dapat digunakan sebagai pengaktivasi arang adalah asam fosfat (H₃PO₄) dan suhu tinggi. Asam fosfat adalah aktivator yang mampu meningkatkan rendemen arang aktif dan membuka pori-pori arang (Marsh dan Reinoso, 2006) serta aman untuk penggunaan arang aktif pada bahan pangan. Menurut Sudrajat dan Pari (2011), konsentrasi asam fosfat yang digunakan untuk aktivasi adalah sebesar 10-15% yang direndam selama 24 jam. Semakin tinggi konsentrasi asam fosfat yang digunakan untuk proses aktivasi, maka kemampuan menjerap larutan akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena asam fosfat mampu membentuk pori-pori permukaan arang yang lebih banyak (Gustama, 2012). Selain itu berdasarkan Rayyani (2014), maka arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit yang diaktivasi dengan asam fosfat 20% selama 30 menit menghasilkan arang aktif terbaik dengan karakteristik kadar abu dan kadar zat terbang yang rendah, tetapi mengandung kadar karbon dan daya jerap terhadap iod yang tinggi, serta daya adsorpsi terhadap Fe³⁺ dan Cu²⁺ yang juga relatif tinggi dibandingkan apabila arang aktif diaktivasi dengan konsentrasi asam fosfat 10 dan 15% dan diaktivasi selama 60 dan 90 menit.

Berdasarkan hal tersebut, maka digunakan asam fosfat dengan konsentrasi 20% dan perbandingan bahan dan pelarut 1:4 (massa/volume) yang direndam selama 24 jam. Setelah proses perendaman dilakukan penirisan untuk memisahkan larutan dengan arang aktif, kemudian arang aktif dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 6 jam. Proses pengeringan arang yang sudah direndam dengan asam fosfat berfungsi agar air yang masih terkandung di dalam arang berkurang dan tidak mengganggu proses aktivasi dengan menggunakan tanur.

Proses aktivasi menggunakan tanur dengan suhu 500°C selama 30 menit. Adanya asam fosfat dapat mengurangi pembakaran pada proses aktivasi, sehingga dapat meningkatkan rendemen arang aktif. Pengurangan pembakaran terjadi karena asam fosfat akan membentuk fosfat anhidrida yang dapat menarik uap air pada ketel, sehingga mengurangi laju pembakaran saat proses aktivasi (Marsh dan Reinoso, 2006).

Menurut Gustama (2012) semakin tinggi suhu aktivasi menyebabkan arang aktif memiliki kemampuan yang semakin meningkat dalam menyerap larutan. Hal ini berhubungan dengan kinetika reaksi yang menyebabkan semakin tinggi suhu aktivasi, maka kecepatan reaksi akan semakin cepat, sehingga pembentukan pori-pori akan semakin banyak. Menurut Hendra dan Pari (1999), ikatan C dan H pada arang terlepas dengan sempurna, sehingga terjadi pergeseran pelat karbon kristalit membentuk pori yang baru dan mengembangkan pori yang telah terbentuk. Arang yang sudah diaktivasi dilakukan penetralan dengan akuades. Proses ini bertujuan untuk memisahkan asam fosfat

yang tidak berikatan dengan karbon. Setelah arang aktif dicuci, maka arang aktif dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 6 jam. Neraca massa pada proses aktivasi dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Neraca Massa Proses Aktivasi

Banyaknya air yang terlepas pada proses aktivasi dimulai pada saat proses penyaringan arang aktif dengan aktivator kimia berupa asam fosfat 20%. Selain itu, air juga dilepaskan pada saat arang diaktivasi di dalam tanur, pencucian arang aktif, dan saat proses pengeringan arang aktif hasil pencucian.

Adapun untuk padatan yang hilang, yaitu sebanyak 70,6% dari total padatan yang masuk. Padatan yang dimaksud disini adalah asam fosfat yang berlebih, serat selulosa dan holoselulosa yang terurai akibat panas, serta sisa arang aktif yang terikat dengan kertas saring. Menurut Meisrilestari *et al.* (2013) terjadinya perubahan massa tersebut disebabkan pada proses aktivasi terjadi proses pembentukan dan penyusunan arang, sehingga pori-pori akan menjadi besar yang

mengakibatkan berat arang menjadi berkurang karena pori-porinya sudah tidak rapat, seperti sebelum proses aktivasi.

Rendemen arang aktif cangkang kelapa sawit yang dihasilkan adalah 72,8%. Hasil ini diperoleh dari perbandingan antara berat arang aktif dengan berat arang yang dikalikan dengan 100.

$$\begin{aligned}\text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat arang}} \times 100\% \\ &= \frac{197,1 \text{ g}}{270,72 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 72,8 \%\end{aligned}$$

Rendemen arang aktif dari arang cangkang kelapa sawit lebih tinggi dibandingkan dengan rendemen arang aktif dari arang tandan kosong kelapa sawit yang hanya sebesar 66%. Tingginya rendemen arang aktif dari cangkang kelapa sawit disebabkan kandungan lignin yang tinggi pada cangkang kelapa sawit. Menurut Daud dan Ali (2004) cangkang kelapa sawit terdiri dari selulosa 29,7%, haloselulosa 47,7%, dan lignin 53,4%. Tingginya kandungan lignin pada cangkang kelapa sawit menjadi penyebab rendemen arang aktif tinggi. Hal ini karena lignin merupakan struktur kuat dan menghasilkan atom karbon yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa dan holoselulosa yang merupakan serat yang mudah terurai oleh panas. Adapun tandan kosong kelapa sawit hanya mengandung lignin 31,68 % dengan kandungan selulosa 37,76 % dan hemiselulosa sebesar 14,62 %, zat ekstraktif 1,34 % dan abu 6,69 % (Sudiyani *et al.*, 2013). Akibatnya rendemen arang aktif tandan kosong kelapa sawit lebih kecil dibandingkan dengan rendemen arang aktif cangkang kelapa sawit.

C. Rendemen Arang Aktif

Berdasarkan tahapan proses yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dihitung rendemen keseluruhan dari tandan kosong kelapa sawit segar menjadi arang aktif dan dari cangkang kelapa sawit segar menjadi arang aktif. Perhitungan rendemen keseluruhan adalah:

1. Rendemen Arang Aktif TKKS

$$\begin{aligned}\text{Rendemen Keseluruhan} &= \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat TKKS Segar}} \times 100\% \\ &= \frac{88,05 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100\% = 8,805 \%\end{aligned}$$

2. Rendemen Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit

$$\begin{aligned}\text{Rendemen Keseluruhan} &= \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat Cangkang Segar}} \times 100\% \\ &= \frac{197,1 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100\% = 19,7 \%\end{aligned}$$

Jadi, rendemen keseluruhan pada proses produksi arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit adalah 8,805%, sedangkan dari cangkang kelapa sawit adalah 19,7%. Hal ini disebabkan cangkang kelapa sawit cenderung lebih banyak mengandung lignin, sehingga jumlah karbon cangkang kelapa sawit juga cenderung lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, U. 2013. Teknologi Penanganan Pascapanen Buah dan Sayuran. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.
- Akbar, M.I. 2011. Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit sebagai Adsorben Zat Warna pada Biodiesel. [Skripsi]. Bogor : Departemen Ilmu Kimia. FMIPA. Institut Pertanian Bogor.
- Ali, A., S. Devarajan, M.S. Waly, M.M. Essa, dan M.S. Rahman. 2011. Nutritional and Medicinal Values of Papaya (*Carica papaya* L.). In M.M. Essa, A. Manickavasagan, E. Sukumar (Eds.). Natural Products and Their Active Compounds on Disease Prevention. New York : Nova Sci. Publ. Inc. ISBN 978-1-62100-153-9.
- Amrullah, M. 2019. Active Packaging Dari Komposit Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan ZnO Pada Kacang Tanah (*Arachis Hypogaea* L.) Goreng. [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Arif, A.Y. 2018. Active Packaging dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben Uap Air dan Oksigen pada Bawang Merah Goreng. [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Arnisa, G.J. 2019. Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit untuk Sistem Kemasan Aktif pada Buah Pepaya (*Carica Papaya* L.). [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Brody, A.L., Strupinsky, E.P., Kline, L.R. 2001. Active Packaging for Food Applications. Boca Raton Florida : CRC Press.
- Castaldo, M., Barlind, L., Mauritzson, F., Wan, P.T., dan Snijder, H.J. 2016. A Fast and Easy Strategy for Protein Purification using Teabags. [Scientific Reports]. Nature : 30 June 2016. DOI : 10.1038/srep28887. [<https://nature.com/scientificreports/>]
- Cozmuta, A.M., A. Peter, L.M. Cozmuta, C. Nicula, L. Crisan, L. Baia, A. Turila. 2015. Active Packaging System Based on Ag/TiO₂ Nanocomposite Used for Extending the Shelf Life of Bread

Chemical and Microbiological Investigations. Packag. Technol. Sci. 28:271-284.

- Daud W.M.A. dan Ali W.S. 2004. Comparison On Pore Development Of Activated Carbon Produced From Palm Shell and Coconut Shell. *Bioresource Technology*. 93(1): 63-69.
- Djatmiko, B., S. Ketaren dan S. Setyahartini. 1985. Pengolahan Arang dan Kegunaannya. Bogor : Agroindustri Press, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fateta IPB.
- El-Maazawi, M.A., Finken, A.N., Nair, A.B., dan Grassian, A.V. 2000. Adsorption and Photocatalytic Oxidation of Acetone on TiO₂ : An in Situ Transmission FTIR Study. *Journal of Catalysis*. 191:138-146.
- Faradina,E. dan Setiawati,N. 2010. Regenerasi Minyak Jelantah Dengan Proses Bleaching Menggunakan Adsorben Arang Aktif. [Laporan Penelitian Program Studi Teknik Kimia]. Fakultas Teknik. Banjarbaru : Universitas Lambung Mangkurat.
- Fauziah, N. 2009. Pembuatan Arang Aktif secara Langsung dari Kulit Acacia mangium Wild dengan Aktivasi Fisika dan Aplikasinya sebagai Adsorben. [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Foo, P.Y.L. dan L.Y. Lee. 2010. Preparation of Activated Carbon from Parkia Speciosa Pod by Chemical Activation. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010*. Vol 2. WCECS 2010. October 20-22 San Fracisco, USA.
- Gustama, A. 2012. Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Dalam Pemurnian Biodiesel. [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Hadi, M.A. 2018. Active Packaging Karbon Aktif TKKS Sebagai Adsorben Uap Air dan Oksigen pada Kacang Tanah Jaruk Selama Penyimpanan. [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.

- Hartanto, S. Dan Ratnawati. 2010. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1):12-16.
- Hendra, D. dan Pari, G. 1999. Pembuatan Arang Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*. Vol 17 : 113-122.
- Hendra, D. 2006. Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Gergajian Campuran. *J. Penelitian Hasil Hutan*. 24(2):April 2006.
- Hendrayana. 2016. Penerapan Produksi Bersih Limbah Padat Hasil Produksi Crude Palm Oil (CPO) di PT. Minamas Plantation Ladangrumpun Sumberabadi di Kecamatan Angsana Kabupaten Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. [Laporan Praktik Kerja Lapangan]. Banjarbaru : Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat.
- Jordan, M.J., K. Tandon, P.E. Shaw, dan K.L. Goodner. 2001. Aromatic Profile of Aqueous Banana Essence and Banana Fruit by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) and Gas Chromatography –Olfactometry (GC-O). *J. Agric. Food Chem.* 49(10): 4813-4817.
- Joven, R., A. Gaecia, A. Arias, J. Medina. 2015. Development of An Active Thermoplastic Film with Oxygen Scavengers Made of Activated Carbon and Sodium Erythorbate. *Packag. Technol. Sci.* 28 : 113 – 121.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1964. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol 4. London: J Wiley.
- Lim, P.S., Y.M. Srinivasan, and A.G. Fane. 2011. TiO₂/AC Composites for Synergistic Adsorption-Photocatalysis Processes : Present Challenges and Further Developments for Water Treatment and Reclamation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 41 : 1173 – 1230.
- Manocha, S.M. 2003. *Porous Carbon*. Vallabh Vidyanagar : Sardar Patel University.

- Markiah. 2019. Sistem Kemasan Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit pada Pisang Kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Marsh, H. dan Reinoso, F.R. 2006. Activated Carbon. UK : Elsevier Science Ltd. ISBN 9780080444635.
- Meisrilestari, Y., Khomaini, R., Wijayanti, H. 2013. Pembuatan arang aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivasi secara fisika, kimia dan fisika-kimia. *Konversi*. 2(1) : 46-51.
- Muchit, M.A., N.B.A. Prasetya, Khabibi. 2013. Sintesis dan Aplikasi Komposit ZnO-Karbon Aktif untuk Footodegradasi Direct Blue 3R serta Fotoreduksi Ion Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ Secara Simultan. *Chem Info*. 1(1) : 345 -354.
- Ningrum, L. 2019. Komposit Arang Aktif-ZnO Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Active Packaging pada Buah Pisang Talas (*Musa paradisiaca var Sapientum L.*). [Skripsi].Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Novari, F., Aryani, F., dan S. Arifin. 2014. Sifat Fisik Dan Kimia Asap Cair (Liquid Smoke) Dari Cangkang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*). *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. ISBN: 978-602-19421-0-9.
- Nursito, J. 2018. Penerapan 3R (Reuse, Reduce, Recycle) pada Produksi CPO (Crude Palm Oil) di PT. Batulicin Agro Sentosa, Desa Karang Bintang, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Banjarbaru : Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat.
- Pari, G. 1999. Karakteristik Arang Aktif dari Arang Serbuk Gergajian Sengon Dengan Bahan pengaktif NH₄HCO₃. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 17 (2) : 89-100.
- Pari, G. 2004. Kajian Struktur Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu sebagai Adsorben Formaldehida Kayu Lapis. [Disertasi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.

- Pari, G. 2010. Peran dan Masa Depan Arang Yang Prospektif Untuk Indonesia. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Pari, G., D.T. Widayati, dan M. Yoshida. 2011. Mutu arang aktif dari serbuk gergaji kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 27(4): 381-398.
- Pino, J.A., P. Winterhalter. dan M. Castro-Benítez. 2017. Odour-active compounds in baby banana Fruit (*Musa acuminata* AA Simmonds cv. Bocadillo). *International Journal of Food Properties*. 20(sup2): 1448-1455. DOI: 10.1080/10942912.2017.1349142.
- Prasetyo, Y. dan H. Nasrudin. 2013. Penentuan Konsentrasi $ZnCl_2$ pada Proses Pembuatan Karbon Aktif Tongkol Jagung dan Penurunan Konsentrasi Surfaktan Linier Alkyl Benzene Sulphonate (LAS). *Journal of Chemistry*. 2(3): 231-235.
- Pratiwi, D. 2014. Aplikasi Karbon Aktif sebagai Penyerap Etilen untuk Memperpanjang Umur Simpan Buah Jambu Biji (*Psidium guajava* L.). [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Purwanti, F. 2018. Active Packaging Arang Aktif dari TKKS sebagai Adsorben Etilen Pisang Talas (*Musa paradisiaca* var *sapientum* L.). [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Putri, B.A. 2018. Active Packaging dari Arang Aktif TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) Sebagai Adsorben Etilen pada Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*) Selama Penyimpanan. [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Putri, T.K., D. Veronica, A. Ismail, A. Karuniawan, Y. Maxiselly, A.W. Irwan, W. Sutari. 2015. Pemanfaatan Jenis-Jenis Pisang (Banana dan Plantain) Lokal Jawa Barat Berbasiskan Produk Sale dan Tepung. *Jurnal Kultivasi*. 142(2) : 63 -70.
- Ramdhani, R. 2018. Aplikasi Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben Etilen pada Active Packaging Pisang Mauli (*Musa acuminata*). [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.

- Rayyani, S. 2014. Pembuatan Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivator Asam Fosfat pada Berbagai Konsentrasi dan Lama Aktivasi sebagai Adsorben Fe^{3+} dan Cu^{2+} . [Skripsi].Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Rizkia, T.Z. 2019. Sistem Kemasan Aktif dari Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit pada Buah Pisang Talas (*Musa paradisiaca* var *Sapientum* L.). [Skripsi].Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Robertson. G.L. 2013. Food Packaging Principles and Practice 3rd edition. US : CRC Press.
- Safari, S. Dan T.G.M. van de Ven. 2015. Effect of crystallization conditions on physical properties of two-layer glassine paper/polyhydroxybutyrate structure. J. Materials Sci. March:2015.
- Saraya, N.G., F.M. Dwivany, V. Suendo. 2017. Pengaruh Penggunaan Senyawa Fotokatalis terhadap Kondisi Fisik, Fisiologis, dan Ekspresi Gen (MaACS1 dan MaAO1) Selama Proses Pematangan Buah Pisang Cavendish (*Musa acuminata* AAA Group). Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni (Semnas-IPTEKS). Institut Teknologi Bandung. 19-20 April 2017.
- Saraswati, I.G.A.A., N.P. Diantariani, P. Surya. 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). J. Kimia. 9(2) : 175 – 182.
- Scully, A.D., M.A. Horsham. 2007. Active Packaging for Fruits and Vegetables. Di dalam Wilson CL (Ed.). Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables. Boca Raton, Florida : CRC Press.
- Sofaeti, Y. 2009. Pengembangan Teknologi Aktivasi Dalam Pembuatan Karbon Aktif. <http://www.tekmira.esdm.go.id/HasilLitbang/?p=389>. [Diakses pada 9 Februari 2014].
- Subadra, I., B. Setiaji, dan I. Tahir. 2005. Activated Carbon Production from Coconut Shell with $(NH_4)HCO_3$ Activator as An

Adsorbent in Virgin Coconut Oil Purification. Prosiding Seminar Nasional Dies ke 50 FMIPA UGM. Yogyakarta 17 September 2005.

- Sudiyani, Y., D. Styarini, E. Triwahyuni, Sudiarmanto, K.C. Sembiring, Y. Aristiawan, H. Abimanyu, dan M.H. Han. 2013. Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palmoil for bioethanol production using pilot – scale unit. *Energy Procedia*. (32) : 31 – 38.
- Sudrajat, R. dan S. Soleh. 1994. *Petunjuk Teknis Pembuatan Arang Aktif*. Bogor : Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sudrajat, R. dan G. Pari . 2011. *Arang Aktif : Teknologi Pengolahan dan Masa depannya*. Bogor : Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Sukiran, M.A., N.K.A. Bakar, dan C.M. Chin. 2009. Optimazation of pirolysis empty fruit bunches. *J. of Oil Palm Research*. 21: 653-658.
- Sulistyo, J. 2009. *Karakteristik Arang Ccangkang Kelapa Sawit dari Proses Karbonisasi yang Berbeda Diaktivasi ZnCl₂ Konsentrasi Rendah pada Beberapa Variasi Suhu dan Waktu Aktivasi*. [Tesis]. Yogyakarta : Teknologi Hasil Perkebunan. Universitas Gadjah Mada.
- Sumiati. 2017. *Active Packaging dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben Uap Air dan Oksigen pada Kacang Tanah (Arachis hypogea L.) Goreng*. [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Van Dogen, W.D., N. de Kruiff. 2007. *ACTIPAK in Europe*. Di dalam Wilson, C.L. (Ed.). *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetabales*. Boca Raton, Florida : CRC Press.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Beest, V.M., Kruijf, Debevere, J. 1999. *Developments in the Active Packaging of Foods*. *Food Sci Technol Int*. 10: 77-86.
- Wahdah. 2017. *Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Active Packaging untuk Adsorben Etilen Buah Pepaya (Carica*

- papaya L.). [Skripsi]. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Wibowo, S., W. Syafi, dan G. Pari. 2011. Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung. *J. Makara Teknologi*. 15(1) :17-24.
- Wicaksono, A.P., N.B.A. Prasetya, R. Hastuti. 2013. Pengaruh Ion Logam Co^{2+} dan Cu^{2+} pada Proses Fotodegradasi Direct Blue 3R Menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-Karbon Aktif. *Chem Info*. 1(1) : 316 – 327.
- Wijaya, H. dan F. Chen. 2013. Flavour of papaya (*carica papaya L.*) fruit. *BIOTROPIA*. 20(1) : 50 – 71.
- Wismayanti, D.A., Ni P.D. dan Sri. R.S. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *J. Kimia*. 9(1):109-116.
- Xu, J. dan S. Zhang. 2014. Regulation of Ethylene Biosynthesis and Signaling by Protein Kinases and Phosphatases. *Molecular Plant* (7) : 939–942.

GLOSARIUM

Alat Pirolisis adalah alat yang digunakan saat proses karbonasi yang dimana pembakaran dengan oksigen terbatas, sehingga arang tidak teroksidasi dan tidak membentuk abu.

Edible Part adalah bagian buah yang dapat dimakan dibandingkan dengan berat buah secara keseluruhan.

Etilen adalah hormon yang menyebabkan terjadinya peningkatan pematangan pada buah dan sayur.

Karbonasi atau Pengarangan merupakan proses penghilangan komponen-komponen yang mudah menguap dan bergabungnya sebagian senyawa-senyawa karbon membentuk suatu kristalit.

Kemasan Aktif (*Active Packaging*) adalah kemasan yang dirancang sedemikian rupa, sehingga kemasan secara aktif mampu mengendalikan kondisi bahan pangan yang dikemas, sehingga memiliki masa simpan lebih panjang, lebih aman dan memiliki sifat sensori (warna, rasa, aroma) yang lebih baik dan memenuhi keinginan konsumen.

Kristalit Grafit Dasar adalah proses penghilangan unsur-unsur non-karbon, hidrogen dan oksigen yang pertama dalam bentuk gas oleh dekomposisi pirolitik bahan baku, dan atom bebas dari karbon dasar bergabung menjadi susunan formasi kristalografi.

Pirolisis ialah salah satu proses pengarangan yang mendekomposisi material organik tanpa mengandung oksigen.

Pirolisis Sekunder merupakan proses pirolisis yang berlangsung pada suhu lebih dari 600°C dan menghasilkan CO, H₂, dan hidrokarbon.

Proses Aktivasi merupakan cara memecahkan ikatan hidrokarbon pada arang sehingga pori arang akan bertambah luas.

Proses Preparasi merupakan proses yang dilakukan untuk memperoleh TKKS kering dari TKKS basah yang diperoleh di pabrik kelapa sawit.

Sistem *Sachet* artinya bahan aktif yang digunakan pada sistem kemasan aktif dikemas dengan bahan pengemas tertentu.

TKKS merupakan tandan yang ukurannya cukup besar untuk setiap tandannya.

INDEKS

A

adsorpsi · 13, 14, 22, 65
aktivasi · 5
arang · i, ii, iv, vii, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 14,
16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27,
32, 33, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 45, 46,
47, 49, 53, 55, 61, 62, 64, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 80,
81
asam fosfat · iv, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24,
34, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 71

B

biopolimer · 15

C

cangkang · i, ii, iv, vii, 1, 2, 3, 5, 15, 16, 17,
18, 19, 20, 24, 25, 32, 33, 34, 37, 40,
41, 42, 43, 45, 46, 49, 61, 64, 69, 70,
76, 80
CPO · ii, 1, 2, 7, 79, 80

E

eksotermik · 11, 18

F

fluidized bed reactor · 10

H

hidrogen · 9, 68

K

karbonasi · iv, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16,
17, 19, 20, 21, 76
kelapa sawit · i, ii, iv, vii, 1, 2, 3, 5, 6, 15,
16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 32, 33,
34, 37, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 49, 61,
62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 76, 80
kristalit · 9, 23
kristalografi · 9

M

massa · ii, iv, 1, 2, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 19,
22, 23, 24, 73
minyak · 1, 3, 7, 8, 10, 63
mulsa · 2

N

neraca · ii, 1, 2
nut · 2

P

palm kernel · 1
penguraian · 10, 11, 19, 69
perkebunan · 1

pirolisis · iv, 9, 10, 12, 16, 17, 18, 20
preparasi · iv, 5, 8, 9, 76
presser · 2

R

Rendemen · iii, 8, 9, 14, 17, 20, 24, 25, 66,
76

S

sludge · 1

steam · 2

T

tandan · i, ii, iv, 1, 2, 5, 6, 22, 24, 25, 32,
61, 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 76

TBS · 1, 2

thresher · 1

TKKS · iv, vii, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,
25, 33, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 45, 46,
49, 65, 66, 68, 71, 78, 81

TENTANG PENULIS

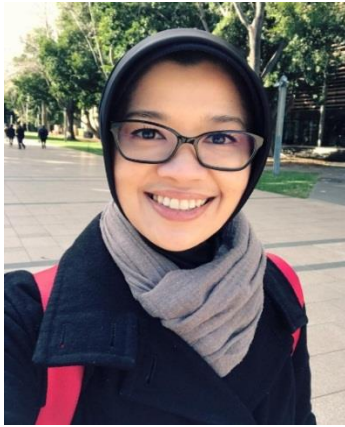


Rini Hustiany, dilahirkan di Banjarmasin pada tanggal 24 Mei 1971. Penulis dari SD sampai SMA sekolah di Banjarmasin. Sejak lulus dari SMAN 1 Banjarmasin pada tahun 1990, penulis melanjutkan sekolah strata 1 di Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor melalui jalur undangan (USMI).

Setelah lulus S1 pada Januari 1995, penulis kembali ke Banjarmasin dan sempat menglanglang buana untuk membina masyarakat transmigrasi melalui bimbingan teknis kerjasama antara Departemen Transmigrasi dan Tenaga Kerja dengan Insititut Pertanian Bogor. Pada bulan Desember 1995 penulis diterima sebagai Dosen di Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat sampai sekarang. Sekarang penulis bertugas di Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

Penulis pada tahun 1997 melanjutkan sekolah untuk strata 2 di Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor dan dilanjutkan pada tahun 2001 untuk melanjutkan sekolah untuk strata 3 di Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor. Setelah selesai sekolah strata 3 pada September 2006, penulis bertugas kembali di kampus Universitas Lambung Mangkurat. Mulai tahun 2006 sampai sekarang penulis mendapatkan berbagai hibah penelitian dari berbagai skim, diantaranya

adalah Hibah Bersaing, Fundamental, Strategi Nasional, Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, dan Penelitian Dasar untuk tahun anggaran 2019-2020.



Alia Rahmi, yang dilahirkan di Banjarmasin pada tanggal 17 September 1980. Penulis menyelesaikan SD hingga SMA di Banjarmasin dan pernah mengikuti pertukaran pelajar selama 1 tahun (1997-1998) di Belgia melalui program American Field Service/Bina Antarbudaya.

Sejak lulus dari SMAN 2 Banjarmasin, penulis melanjutkan sekolah strata 1 di Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan (dahulu Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi), Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor melalui jalur undangan (USMI). Penulis menyelesaikan skripsi dengan bantuan dana penelitian dari Bogasari Nugraha 2003.

Setelah lulus strata 1 pada September 2003, penulis bekerja di PT. Indofood CPB Sukses Makmur, Tbk – Noodle Division Banjarmasin sebagai QC RM/FG Section Supervisor. Penulis bergabung sebagai Dosen di Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat pada bulan Januari 2008.

Pada tahun 2011, penulis melanjutkan sekolah strata 2 di University of New South Wales (UNSW), Australia di bidang Food Process Engineering melalui beasiswa Australian Development Scholarship. Sejak bulan Juni 2019, penulis kembali ke UNSW untuk mengambil program doktoral di bidang Food Science and Technology, kali ini melalui beasiswa Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).

Selama bertugas sebagai Dosen, penulis sempat mengikuti beberapa short course seperti di CDI Wageningen University, Belanda melalui beasiswa StuNed-Nuffic NESO pada tahun 2015 dan di UNSW pada tahun 2016. Penulis juga pernah mendapatkan dana dari Australia Alumni Grant Scheme pada tahun 2015-2016 untuk melaksanakan penelitian.