

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Palm Oil Mill Effluent (POME)*

Indonesia berada pada posisi terdepan industri kelapa sawit dunia. Panen rata-rata tahunan minyak sawit mentah Indonesia meningkat sebesar tiga persen pada 10 tahun terakhir, sedangkan wilayah yang ditanami kelapa sawit meningkat selama sembilan tahun terakhir. Indonesia juga mengharapkan peningkatan produksi minyak sawit mentah dari 28,5 juta metrik ton pada tahun 2014 (MCA-Indonesia, 2014).

Dampak lain perkembangan pesat produksi minyak sawit mentah adalah limbah cair kelapa sawit, yang sering disebut sebagai *palm oil mill effluent* atau POME. Setiap ton tandan buah segar yang diolah menghasilkan limbah cair sekitar 50% dibandingkan dengan total limbah lainnya, sedangkan tandan kosong sebanyak 23% (Sutarta dalam Wibisono, 2013).

POME adalah limbah cair kelapa sawit yang masih mengandung banyak padatan terlarut. Sebagian besar padatan terlarut ini berasal dari material lignoselulosa mengandung minyak yang berasal dari buah sawit. Lignoselulosa dalam POME adalah penyusun terbanyak dari tanaman berkayu. Lignoselulosa terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan material berselulosa.

Kandungan kimiawi dari lignoselulosa ini membuat mereka bernilai tinggi dari segi bioteknologi. Kebanyakan dari limbah lignoselulosa ini dibuang langsung dengan cara pembakaran, dimana hal ini tidak dilarang di negara berkembang. Namun, akan muncul masalah ketika biomassa ini tidak diperlakukan dengan baik dan dibiarkan membusuk di areal pertanaman, dimana kedepannya akan terjadi penumpukan kandungan organik yang terlalu tinggi.

Oleh sebab itu, manajemen lingkungan memberikan tekanan yang besar di pengurangan limbah dari sumbernya ataupun proses daur ulang. Adapun karakteristik dari limbah cair pabrik kelapa sawit terlihat pada Tabel 1. Meski tak

beracun, limbah cair tersebut dapat menyebabkan bencana lingkungan karena dibuang di kolam terbuka dan melepaskan sejumlah besar gas metana dan gas berbahaya lainnya yang menyebabkan emisi gas rumah kaca.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair POME

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1	<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	mg/L	20.000 - 30.000
2	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	mg/L	40.000 - 60.000
3	<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	mg/L	15.000 - 40.000
4	<i>Total Solid (TS)</i>	mg/L	30.000 - 70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5.000 - 7.000
6	NH ₃ -N	mg/L	30 – 40
7	Total N	mg/L	500 – 800
8	Suhu	°C	90 – 140
9	pH	-	4 – 5

(Sumber : Irvan, 2012)

Proses pengolahan minyak sawit menghasilkan sejumlah besar limbah cair (55-67 persen), yang dapat mencemari air karena mengandung 20.000 - 30.000 mg/L *Biological Oxygen Demand (BOD)*. Peningkatan kandungan BOD mengurangi kadar oksigen dalam air, sehingga berbahaya bagi ekosistem perairan, bahkan dapat menghilangkan keanekaragaman hayati di dalamnya. Pemrosesan POME mengurangi sejumlah besar kandungan BOD dan mengurangi dampak negatif dari limbah pabrik kelapa sawit terhadap ekosistem perairan.

Tingginya kandungan *Chemical Oxygen Demand (COD)* sejumlah 50.000-70.000 mg/L dalam limbah cair kelapa sawit memberikan potensi untuk konversi listrik dengan menangkap gas metana yang dihasilkan melalui serangkaian tahapan proses pemurnian. Sumber energi terbarukan tersebut dapat menghasilkan listrik bagi desa-desa di sekitar perkebunan sawit yang saat ini banyak bergantung pada generator diesel yang mahal, serta mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dengan mengubah limbah bermasalah menjadi energi.

Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah

cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuknya ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006).

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Minyak Sawit

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
1	COD	mgO ₂ /L	500	3,0
2	BOD	mg/L	250	3,0
3	TSS	mg/L	300	1,8
4	pH	-	6,0-9,0	-

(Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No: Kep51/MenLH/10/1995 BAPEDAL 1999)

Limbah gas yang berasal dari pabrik kelapa sawit yaitu limbah udara dari pembakaran solar dari generating set dan pembakaran jenjang kosong dan cangkang sawit di incenerator. Gas buang ini dibuang ke udara terbuka. Umumnya limbah debu dan abu pembakaran jenjang kosong dan cangkang sawit sebelum dibuang bebas ke udara dikendalikan dengan pemasangan dust collector, untuk menangkap debu ikutan dalam sisa gas pembakaran, kemudian dialirkan melalui cerobong asap dari permukaan tanah (ditjen PPHP Departemen Pertanian, 2006).

Limbah cair yang dihasilkan harus mengikuti standard yang sudah ditetapkan dan tidak dapat dibuang/diaplikasikan secara langsung karena akan berdampak pada pencemaran lingkungan. Parameter yang menjadi salah satu indikator kontrol untuk pembuangan limbah cair adalah angka *biological oxygen demand* (BOD). Angka BOD berarti angka yang menunjukkan kebutuhan oksigen. Jika air limbah mengandung BOD tinggi dibuang ke sungai maka oksigen yang ada di sungai tersebut akan terhisap material organik tersebut sehingga makhluk hidup lainnya akan kekurangan oksigen.

Sedangkan angka *chemical oxygen demand* (COD) adalah angka yang menunjukkan suatu ukuran apakah dapat secara kimiawi dioksidasi. Fungsi dari pengolahan limbah (*effluent treatment*) adalah untuk menetralsir parameter limbah yang masih terkandung dalam cairan limbah sebelum diaplikasikan (*land*

aplication). Mutu limbah cair yang dapat dialirkan ke sungai adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Ph	-	6-9
2	TSS	mg/L	150
3	BOD	mg/L	50
4	COD	mg/L	100
5	Sulfida	mg/L	1
6	Amonia (NH ₃ -N)	mg/L	20
7	Fenol	mg/L	1
8	Minyak & Lemak	mg/L	15
9	MBAS	mg/L	10
10	Kadmium	mg/L	0.1
11	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.5
12	Krom total (Cr)	mg/L	1
13	Tembaga (Cu)	mg/L	2
14	Timbal (Pb)	mg/L	1
15	Nikel (Ni)	mg/L	0.5
16	Seng (Zn)	mg/L	10
17	Kuantitas Air Limbah Maksimum	0.8 L perdetik per Ha Lahan Kawasan Terpakai	

(Sumber : PerMen-LH No.3 2010)

Limbah cair yang dihasilkan tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Poh dan Chong (2009) telah merangkum tentang pemanfaatan limbah POME adalah sebagai berikut :

1. Dengan aerobik dan anaerobik. Aerobik mempunyai keuntungan penggunaan energi rendah (tidak ada aerasi), produksi fase metana banyak pada produk tetapi pengolahan dengan anaerobik ini mempunyai kekurangan yaitu memerlukan waktu yang lama dan *strat up* yang lambat. Pengolahan aerobik mempunyai keuntungan waktu untuk proses pengolahan relatif lebih cepat dan efektif untuk menangani limbah beracun akan tetapi kekurangannya adalah memerlukan energi yang besar untuk aerasi.
2. Pengolahan dengan menggunakan membran mempunyai keuntungan produksinya stabil kualitas air yang dihasilkan bagus dan kekurangannya adalah masa penggunaan membran yang singkat.
3. Pengolahan dengan evaporasi mempunyai keuntungan bisa mengolah limbah dengan konsentrasi padatan yang tinggi dari proses dan kekurangannya konsumsi energy yang dipakai besar. Cara-cara tersebut merupakan cara-cara yang lazim digunakan dalam

industri pengolahan CPO. Kelemahan dari cara-cara tersebut adalah hanya menurunkan kandungan BOD dan COD, sedangkan komponen lain seperti N,P,K, dan berbagai mineral lain kadarnya masih tinggi sehingga masih bisa dimanfaatkan diolah lebih lanjut.

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif, adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan satu gram dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira – kira sebesar 500 m^2 (didapat dari pengukuran adsorpsi nitrogen gas nitrogen).

Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri. Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang cukup tinggi berkisar antara 100 sampai dengan $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Bahkan ada peneliti yang mengklaim luas permukaan karbon aktif yang dikembangkan memiliki luas permukaan melebihi $3000 \text{ m}^2/\text{g}$.

Karbon aktif disusun oleh atom-atom karbon yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang hexagonal. Kemampuan karbon aktif mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H, dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsional.

2.2.1 Jenis-jenis Arang Aktif

2 (dua) jenis perbedaan yang dipertimbangkan dalam pembuatan dan penggunaan karbon aktif (Kirkothmer dalam Kurniati, 2008):

1. Fase liquid, karbon-karbon aktif umumnya ringan dan halus berbentuk seperti serbuk;
2. Fase atau Penyerap uap, karbon-karbon aktifnya keras,berbentuk butiran atau pil.

2.2.2 Kegunaan Arang Aktif

Adapun beberapa kegunaan arang aktif antara lain adalah (LIPI, 1999) :

1. Untuk gas
 1. Pemurnian gas, desulfurisasi, menghilangkan gasracun, bau busuk, asap, menyerap racun;
 2. Pengolahan LNG, desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas;
 3. Katalisator, reaksi katalisator atau pengangkut vinil klorida dan vinil acetate;
 4. Lain-lain, menghilangkan bau dalam kamar pendingin dan mobil.

2. Untuk zat cair
 1. Industri obat dan makanan, menyaring dan menghilangkan warna, bau dan rasa yang tidak enak pada makanan;
 2. Minuman ringan dan minuman keras, menghilangkan warna dan bau pada arak/minuman keras dan minuman ringan;
 3. Kimia Perminyakan, penyulingan bahan mentah, zat perantara;
 4. Pembersih air, menyaring atau menghilangkan bau, warna dan zat pencemar dalam air sebagai pelindung atau penukar resin dalam penyulingan air;
 5. Pembersih air buangan, mengatur dan membersihkan air buangan dan
 6. Pencemaran;
 7. Penambakan udang dan benur, pemurnian, menghilangkan bau dan warna;
 8. Pelarut yang digunakan kembali, penarikan kembali berbagai pelarut, sisa methanol, etil acetate dan lainlain.

2.2.3 Pembuatan Arang Aktif

Arang aktif adalah karbon tak berbentuk yang diolah secara khusus untuk menghasilkan luas permukaan yang sangat besar, berkisar antara 300-2000 m³/gr. Luas permukaan yang besar dari struktur dalam pori-pori karbon aktif dapat dikembangkan, struktur ini memberikan kemampuan karbon aktif menyerap (adsorb) gas-gas dan uap-uap dari gas dan dapat mengurangi zat-zat dari liquida

(Kirkothmer dalam Kurniati, 2008). Bahan-bahan yang digunakan selama proses pembuatan arang aktif dibuat konstan yaitu :

1. Bahan dalam hal ini cangkang kelapa sawit;
2. Aktivator yang digunakan H_3PO_4 .

a. Proses Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses pemecahan/peruraian selulosa menjadi karbon pada suhu berkisar $275^\circ C$. (Tutik dalam Kurniati, 2008). Proses karbonisasi terdiri dari empat tahap yaitu :

1. Pada suhu $100 - 120^\circ C$ terjadi penguapan air dan sampai suhu $270^\circ C$ mulai terjadi peruraian selulosa. Distilat mengandung asam organik dan sedikit methanol. Asam cuka terbentuk pada suhu $200-270^\circ C$.
2. Pada suhu $270-310^\circ C$ reaksi eksotermik berlangsung dimana 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 CO_2 .
3. Pada suhu $310-500^\circ C$ terjadi peruraian lignin, dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan pirolignat menurun, gas CO_2 menurun sedangkan gas CO dan CH_4 dan H_2 meningkat.
4. Pada suhu $500-1000^\circ C$ merupakan tahap dari pemurnian arang atau kadar karbon. (Sudrajat dalam Kurniati, 2008)

Proses karbonisasi sudah dikenal dan telah dipakai untuk mengolah beraneka ragam bahan padat maupun cair, antara lain cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa, limbah kulit hewan, tempurung kemiri. Alat yang digunakanpun bermacam-macam, mulai dari tanah, kiln bata, *kiln portable*, *kiln* arang limbah hasil pertanian, *retort* sampai tanur (Sudrajat dalam Kurniati, 2008). Adapun variabel percobaan proses karbonisasi dapat berupa :

1. Suhu akhir proses karbonisasi dengan variasi suhu : $400^\circ C$, $450^\circ C$, $500^\circ C$, $550^\circ C$ dan $600^\circ C$.
2. Lama proses karbonisasi dengan variasi waktu : 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam.
(Widiadi dalam Kurniati, 2008)

Pada cara ini karbon yang diperoleh dari pembakaran dihaluskan menjadi produk dan kemudian dilakukan steam pada suhu yang tinggi berarti pada cara ini bila dibandingkan dengan cara aktivasi kimia memerlukan peralatan yang lebih kompleks. Proses pembakaran atau karbonisasi dari bahan dasar dilakukan dalam sebuah dapur yang tertutup dan berhubungan dengan udara proses atau dinamakan "Destructive Distillation" atau "Pirolisa Kayu". Dari distilasi tanpa udara ini, akan terbentuk arang primer (*charcoal primer*). Aktivasi dari *charcoal* masih sangat rendah, hal ini dapat disebabkan masih banyaknya melekat sisa-sisa *tar coke* (sisa-sisa senyawa hidrokarbon) sedangkan senyawa hidrokarbon ini terikat secara kimiawi sehingga sukar untuk dipisahkan secara ekstraksi dengan menggunakan pelarut (Farid dalam Kurniati, 2008). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonasi :

1. Waktu karbonisasi

Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka reaksi pirolisis semakin sempurna sehingga hasil arang semakin turun tetapi cairan dan gas makin meningkat. Waktu karbonisasi berbedabeda tergantung pada jenis-jenis dan jumlah bahan yang diolah. Misalnya : tempurung kelapa memerlukan waktu 3 jam (BPPI Bogor, 1980), sekam padi kira-kira 2 jam (Joni dalam Kurniati, 2008) dan tempurung kemiri 1 jam (Bardi dalam Kurniati, 2008).

2. Suhu karbonisasi

Suhu karbonisasi yang berpengaruh terhadap hasil arang karena semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh makin berkurang tapi hasil cairan dan gas semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh makin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan. Untuk tempurung kemiri suhu karbonisasi 400°C (Bardi dalam Kurniati, 2008), dan tempurung kelapa suhu karbonisasi 600°C (BPPI Bogor, 1980).

b. Proses Aktivasi

Aktivasi adalah perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa tar dan

senyawa sisa-sisa pengarangan. (Shreve dalam Kurniati, 2008). Daya serap karbon aktif semakin kuat bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator yang ditambahkan. Hal ini memberikan pengaruh yang kuat untuk mengikat senyawa-senyawa tar keluar melewati mikro pori-pori dari karbon aktif sehingga permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang mengakibatkan semakin besar pula daya serap karbon aktif tersebut (Tutik dalam Kurniati, 2008). Metode aktivasi yang dapat digunakan adalah :

1. Aktivasi kimia

Pada cara ini, proses aktivasi dilakukan dengan mempergunakan bahan kimia sebagai activating agent. Aktivasi arang ini dilakukan dengan merendam arang ke dalam larutan kimia, misalnya $ZnCl_2$, HNO_3 , KCl dan lain-lain. Sehingga bahan kimia akan meresap dan membuka permukaan arang yang semula tertutup oleh deposit tar (Tutik dalam Kurniati, 2008).

2. Aktivasi dengan suhu tinggi

Pada cara ini karbon atau arang dipanaskan dengan suhu tinggi didalam sistem tertutup tanpa udara sambil dialiri gas *inert*. Saat ini terjadi reaksi lanjutan pemecahan atau peruraian sisa deposit tar dan senyawa hidrokarbon sisa karbonisasi keluar dari permukaan karbon sebagai akibat gas suhu tinggi dan adanya aliran gas inert, sehingga akan dihasilkan karbon dengan luas permukaan yang cukup luas atau disebut karbon aktif (Tutik dalam Kurniati, 2008)

Berbeda dengan aktivasi kimia, pada cara ini proses aktivasi berlangsung melalui tahap proses karbonisasi yang dilanjutkan dengan proses aktivasi dengan menggunakan steam pada suhu yang tinggi. Tahapan pengaktifan atau pengeluaran senyawa yang menutupi rongga dan pori-pori arang dapat dilakukan dengan cara dehidrasi menggunakan garam jenuh seperti $MgCl_2$, $ZnCl_2$, $CaCl_2$ dan lainnya serta asam atau basa H_3PO_4 , H_2SO_4 , $NaOH$ dan lainnya (Sudrajat dalam Kurniati, 2008). Pada proses aktivasi yang mempergunakan garam mineral, asam dan basa sebagai aktivator, dimana aktivator ini ditambahkan pada bahan dasar sebelum dilakukan proses pembakaran atau karbonisasi. Maka pada saat

proses karbonisasi dilakukan activator tersebut akan mengikat karbon yang baru berbentuk dengan gaya adhesi sehingga bila activator tersebut dicuci dengan air maka akan diperoleh karbon yang mempunyai permukaan lebih terbuka sehingga mempunyai gaya adhesi yang lebih besar (Farid dalam Kurniati, 2008). Proses pengarangan terjadi melalui tahap pemutusan ikatan antara karbon dengan senyawa lain (Hidrogen), dimana karbon tersebut tidak mengalami proses oksidasi (Joni dalam Kurniati, 2008).

Tabel 4. Persyaratan Arang Aktif menurut Standart Industri Indonesia (SII No. 0258-79) yang dikeluarkan Departmen Perindustrian.

No.	Parameter	Satuan	Kadar
1	Bagian yang hilang pada suhu 950°C	%	Max 15
2	Air	%	Max 10
3	Abu	%	Max 2.5
4	Daya serap terhadap I ₂	%	Min 20

(Sumber: BPKI, 2009)

Berdasarkan ukuran pori-porinya karbon aktif dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu mikropori dengan ukuran pori-pori 10- 1000 Angstrom dan makropori, dengan ukuran pori-pori lebih besar dari 1000 Angstrom (Paul dalam Kurniati, 2008). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses aktivasi antara lain adalah :

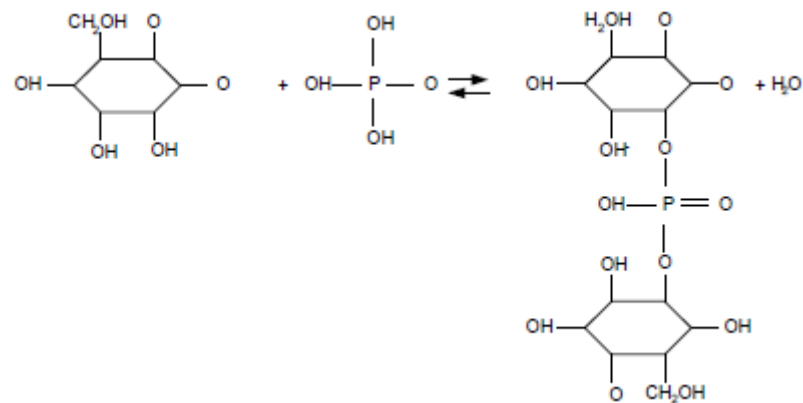
1. Waktu perendaman

Perendaman dengan bahan aktivasi ini dimaksudkan untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, karena adanya lignin dapat membentuk senyawa tar. Waktu perendaman untuk bermacam-macam zat tidak sama. Misalnya sekam padi dengan activator NaCl direndam selama 24 jam (Majalah kulit, karet dan plastik, 2003) dan tempurung kelapa dengan aktifator ZnCl₂ direndam selama 20 jam (Tutik dalam Kurniati, 2008). H₃PO₄ lamanya perendaman sekitar 12-24 jam (Sudrajat dalam Kurniati, 2008).

2. Konsentrasi aktivator

Semakin tinggi konsentrasi larutan kimia aktifasi maka semakin kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi

untuk keluar melewati mikro pori-pori dari karbon sehingga permukaan karbon semakin porous yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi karbon aktif tersebut. Mekanisme aktivasi arang dengan larutan H_3PO_4 bisa dijelaskan dengan gambar reaksi di bawah ini :



Gambar 1. Mekanisme pengaktifan arang dengan larutan H_3PO_4

Arang atau karbon semakin banyak mempunyai mikropori setelah dilakukan aktivasi, hal ini terjadi karena activator telah mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi keluar dari mikropori arang, sehingga permukaannya semakin *porous*.

3. Ukuran bahan

Makin kecil ukuran bahan makin cepat perataan keseluruhan umpan sehingga pirolisis berjalan sempurna. Pada pirolisis tempurung kelapa 2-3 mm (Tutik dalam Kurniati, 2008). Pori-pori pada karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan :

1. Makropori (diameter > 50 nm)
2. Mesopori (diameter 2 – 50 nm)
3. Mikropori (diameter < 2nm)

Dari ketiga golongan tersebut, yang memegang peranan penting pada proses penyerapan adalah mikropori karena volume total lubang mikropori jauh lebih besar daripada volume total makropori dan mesopori. Makropori dan mesopori hanya berfungsi sebagai *transport pore* (jalan menuju mikropori) (Do dalam Kurniati, 2008).

2.2.4 Karakterisasi Karbon Aktif

Penentuan sifat-sifat karbon aktif yang diperoleh melalui karbonisasi dan aktivasi, maka perlu dilakukan karakterisasi. Karakterisasi dalam penelitian ini meliputi penentuan kadar air, penentuan kadar abu, penentuan kadar zat terbang dan penentuan kadar serap iodin.

a. Penentuan Kadar Air

Penentuan kadar air dapat dilakukan dengan mengasumsi bahwa dalam karbon aktif tersebut hanya air yang merupakan senyawa mufah menguap. Pada dasarnya penentuan kadar air adalah dengan menguapkan air dari karbon aktif dengan pemanasan 150°C sampai didapatkan berat yang konstan. (Jankowska dkk., 1991)

Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis karbon aktif, dimana karbon aktif mempunyai sifat afinitas yang besar terhadap air. Berdasarkan SII No. 0258-79 karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 15%.

b. Penentuan Kadar Zat Terbang

Prinsip dalam penentuan kadar zat terbang adalah sample dari air menguap pada suhu diatas 100°C sehingga tercapai berat konstan selama ± 4 jam (kadar air) diambil sebanyak 1 gram lalu dipanaskan dalam furnace pada suhu 900°C selama 7 menit. Berdasarkan SNI 06-3730-1995 karbona aktif yang baik mempunyai kadar zat terbang maksimal 25%.

c. Penentuan Kadar Abu

Karbon aktif yang dibuat dari bahan alam tidak hanya mengandung senyawa karbon saja, tetapi juga mengandung beberapa mineral. Sebagian mineral ini hilang selama proses karbonisasi dan aktivasi, sebagian lagi tertinggal dalam karbon aktif. (Jakowska dkk., 1991)

Kadar abu karbon aktif adalah sisa yang tertinggal pada saat karbon dibakar, biasanya pada temperature $600 - 900^{\circ}\text{C}$ selama $3 - 16$ jam.

Berdasarkan SII No.0258-79 karbon aktif yang baik mempunyai kadar abu maksimal 10%.

d. Penentuan Kadar Karbon Terikat

Karbon dalam arang adalah zat yang terdapat pada fraksi padat hasil pirolisis selain abu (zat anorganik) dan zat-zat yang masih terdapat pada pori-pori arang. Prosedur pengujian dan perhitungan kadar karbon mengacu pada SNI 06-3730-1995.

e. Penentuan Daya Serap Iod

Adsorpsi iodine telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Penetapan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna. Angka iodine didefinisikan sebagai jumlah milligram iodine yang diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. Dimana konsentrasi filtrate adalah 0.02N.

Pada metode ini diasumsikan bahwa iodine berada dalam kesetimbangan pada konsentrasi 0.02 N yaitu dengan terbentuknya lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan karbon aktif dan inilah yang menjadi alasan mengapa terdapat hubungan antara bilangan iodium dengan luas permukaan spesifik karbon aktif. (Jankowska dkk., 1991). Berdasarkan SII No.0258-79 karbon aktif yang baik mampu menyerap iodine minimal 750mg/g.

Table 5. Syarat Mutu Karbon Aktif (SII. 0258-88)

Uraian	Satuan	Persyaratan	
		Butiran	Padatan
Kadar air	%	Max 4.5	Max 10
Kadar abu	%	Max 2.5	Max 10
Daya serap terhadap larutan I ₂	mg/gram	Min 750	Min 750
Daya serap terhadap benzene	mL/gram	Min 25	-
Daya serap terhadap methyleneblu	mL/gram	Min 60	Min 120
Lolos ukuran mesh 325	%	-	Min 90

Sumber : Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, LIPI 1997

Table 6. Persyaratan Arang Aktif (SNI) 06-3730-1995

Jenis Persyaratan	Parameter
Kadar air	Max 15%
Kadar abu	Max 10%
Kadar zat menguap	Max 25%
Kadar karbo terikat	Max 65%
Daya serap terhadap Iodine	Min 750 mg/gr
Daya serap terhadap Benzene	Min 25%

Sumber : Dewan Standarisasi Nasional, 1995

Variabel yang mempengaruhi pada pembuatan karbon aktif :

1. Suhu karbonisasi
2. Jenis zat aktifator
3. Konsentrasi aktifator
4. Waktu aktifasi
5. Ukuran karbon aktif

2.3 Sabut Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu tanaman yang termasuk dalam famili Palmae dan banyak tumbuh di daerah tropis, seperti di Indonesia. Tanaman kelapa membutuhkan lingkungan hidup yang sesuai untuk pertumbuhan dan produksinya. Faktor lingkungan itu adalah sinar matahari, temperatur, curah hujan, kelembaban, dan tanah (Palungkun dalam Pertiwi, 2000). Sejak tahun 1988 Indonesia menduduki urutan pertama sebagai negara yang memiliki areal kebun kelapa terluas di dunia. Dari seluruh luas areal perkebunan kelapa, sekitar 97,4% dikelola oleh perkebunan rakyat yang melibatkan sekitar 3,1 juta keluarga petani, sisanya sebanyak 2,1% dikelola perkebunan besar swasta dan 0,5% dikelola perkebunan besar negara (Palungkun dalam Pertiwi, 2000).

Salah satu bagian yang terpenting dari tanaman kelapa adalah buah kelapa. Bagian dari buah kelapa yang diambil untuk dimanfaatkan sebagai bahan masakan adalah daging buah dan air kelapanya, sehingga sabut kelapa dibuang begitu saja dan kurang dimanfaatkan. Oleh karena itu, studi pemanfaatan sabut kelapa perlu dilakukan agar lebih memiliki nilai guna, sehingga dapat mereduksi jumlah sabut kelapa dalam timbunan sampah. Salah satu pemanfaatan sabut kelapa adalah

sebagai karbon aktif. Sabut kelapa dapat digunakan sebagai karbon aktif karena mengandung unsur karbon (C) dan strukturnya yang keras. Sabut kelapa terdiri dari serat dan gabus yang menghubungkan satu serat dengan serat lainnya. Serat adalah bagian yang berharga dari sabut. Karbon aktif merupakan suatu bahan yang sangat bermanfaat bagi usaha-usaha perlindungan lingkungan. Karbon aktif mempunyai daya serap yang baik, sehingga dapat digunakan sebagai media penyerap zat-zat yang tidak diinginkan maupun toksik, baik dalam air maupun gas.

Istilah karbon aktif dalam pengertian umum adalah suatu karbon yang mampu mengadsorpsi baik dalam fase cair maupun dalam fase gas. Bahan baku yang berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, limbah ataupun mineral yang mengandung karbon dapat dibuat menjadi arang aktif antara lain tulang, kayu lunak, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras dan batubara (Sembiring dan Sinaga dalam Pertiwi, 2000). Kandungan karbon setelah dikarbonisasi identik dengan berat arang (Warnijati dan Agra dalam Trihendrardi, 1997). Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi terlarut (soluble) yang ada dalam larutan oleh permukaan benda penyerap dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerapnya (Reynold dalam Pertiwi, 2000). Pada umumnya adsorpsi zat cair dengan adsorben karbon digunakan untuk pemucatan warna, pemurnian air, larutan dan lain-lain. Eckenfelder dalam Pertiwi (2000) menyebutkan bahwa adsorpsi zat cair dengan adsorben karbon digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, dan warna pada air.

Berikut ini merupakan mutu karbon aktif dari sabut kelapa dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7. Hasil Uji Mutu Karbon Aktif dari Sabut Kelapa

No.	Parameter	Mutu Karbon Aktif dari Sabut Kelapa	SII No. 0258-79
1	Bagian yang hilang pada suhu 950°C	10.96 %	Max 15
2	Air	8.62 %	Max 10
3	Abu	1.16 %	Max 2.5
4	Daya serap terhadap I ₂	24.8 %	Min 20

(Sumber: BPKI, 2009)

Sedangkan karakteristik karbon aktif dari sabut kelapa dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 8. Karakteristik Karbon dari Sabut Kelapa

Parameter	Satuan	Dengan aktivator ZnCl ₂	Tanpa aktivator ZnCl ₂
Spesifik luas permukaan	m ² /gr	910	167
Total volum pori	cm ³ /gr	0.363	0.122
pH (pelarut 1%)		3.27	10.10
Konduktivitas (pelarut 1%)	mS/cm	0.26	2.30
Kadar abu	%	3.20	8.00
SPGR		1.05	1.74
Kadar zat terbang	%	19.25	58.38
Kadar <i>Fix</i> karbon	%	81.73	41.62
Jumlah iodin	mg/g	210.04	101.52

(Sumber: R Subha & C Namasivayam, 2009)

2.4 Ampas Tebu

Tebu (*Sacharum officinarum*, Linn.) merupakan tanaman bahan baku pembuatan gula yang hanya dapat ditanam di daerah beriklim tropis. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih satu tahun. Tebu termasuk keluarga Graminae atau rumput-rumputan dan cocok ditanam pada daerah dengan ketinggian 1 sampai 1300 meter di atas permukaan air laut.

Di Indonesia terdapat beberapa jenis tebu, di antaranya tebu hitam (cirebon), tebu kasur, POJ 100, POJ2364, EK 28, dan POJ 2878. Setiap tebu memiliki ukuran batang dan warna yang berlainan. Tebu termasuk tanaman berbiji tunggal yang tingginya berkisar antara 2 sampai 4 meter. Batang tebu memiliki banyak ruas yang setiap ruasnya dibatasi oleh buku-buku sebagai tempat tumbuhnya daun.

Bentuk daunnya berupa pelepah dengan panjang mencapai 1-2 meter dan lebar 4-8cm. Permukaan daunnya kasar dan berbulu. Bunga tebu berupa bunga majemuk dengan bentuk menjuntai dipuncak sebuah poros gelagah. Tebu mempunyai akar serabut. Tebu dari perkebunan diolah menjadi gula di pabrik gula. Dalam proses produksi gula, dari setiap tebu yang diproses dihasilkan ampas tebu sebesar 90%, gula yang dimanfaatkan hanya 5% dan sisanya berupa tetes tebu (*molase*) dan air (Witono dalam Wijayanti, 2009).

Limbah pabrik gula berupa ampas tebu sangat mengganggu lingkungan apabila tidak dimanfaatkan. Selama ini pemanfaatan ampas tebu hanya terbatas untuk pakan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, *pulp*, *particle board*, dan untuk bahan bakar *boiler* di pabrik gula. Nilai ekonomi yang diperoleh dari pemanfaatan tersebut masih cukup rendah. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengembangan teknologi sehingga terjadi diversifikasi pemanfaatan limbah pertanian (Witono dalam Wijayanti, 2009). Kandungan karbon yang tinggi dalam ampas tebu menjadi dasar untuk memanfaatkannya sebagai arang aktif.

Ampas tebu merupakan limbah pabrik gula yang sangat mengganggu apabila tidak dimanfaatkan. Ampas tebu mengandung serat (selulosa, pentosan, dan lignin), abu, dan air (Syukur dalam Wijayanti, 2009). Adanya serat memungkinkan digunakannya ampas tebu sebagai pakan ternak, tetapi adanya lignin dengan kandungan cukup tinggi (19.7%) dan kadar protein yang rendah (28%) menyebabkan penggunaannya sangat terbatas (Lembar Informasi Pertanian 2005).

Pentosan merupakan salah satu polisakarida yang terdapat dalam ampas tebu dengan persentase sebesar 20-27%. Kandungan pentosan yang cukup tinggi tersebut memungkinkan ampas tebu diolah menjadi furfural yang memiliki aplikasi cukup luas dalam beberapa industri terutama untuk mensintesis senyawa-senyawa turunannya seperti furfural alkohol, furan dan lain-lain (Witono dalam Wijayanti, 2009).

Ampas tebu atau lazimnya disebut bagasses, adalah hasil samping dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling (Indriani dan Sumiarsih dalam Wijayanti, 2009). Husin dalam Wijayanti (2009) menambahkan, berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Ampas tebu sebagian besar mengandung ligno-cellulose.

Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. Bagase mengandung air 48 - 52%, gula rata-rata 3,3% dan

serat rata-rata 47,7%. Serat bagase tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, pentosan dan lignin (Husin dalam Wijayanti, 2009).

Tabel 9. Hasil Analisa Serat Ampas Tebu

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3.82
Lignin	22.09
Selulosa	37.65
Sari	1.81
Pentosan	27.97
SiO ₂	3.01

(Sumber: Husin, 2007)

Kaur (2008) mengemukakan bahwa ampas tebu juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat seperti Zn²⁺ (90%), Cd²⁺ (70%), Pb²⁺ (80%), dan Cu²⁺ (55%). Kandungan karbon yang cukup tinggi pada ampas tebu menjadi dasar untuk melakukan pembuatan arang aktif sebagai adsorben pada pengolahan POME ini.

2.5 Zat Aktifator

Aktifator adalah zat atau senyawa kimia yang berfungsi sebagai reagen pengaktifan dan zat ini akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktifator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi menjadi lepas. Selanjutnya zat aktifator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup. Dengan demikian pada saat dilakukan pemanasan, senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap sehingga luas permukaan karbon aktif semakin besar dan meningkatkan daya serapnya. Menurut Kirk dan Othmer dalam Dewi (2009), bahan kimia yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktif adalah CaCl₂, Ca(OH)₂, NaCl, MgCl₂, HNO₃, HCl, Ca₃(PO₄)₂, H₃PO₄, ZnCl₂, NaOH dan sebagainya. Semua bahan aktif ini umumnya bersifat sebagai pengikat air.

2.5.1 Zinc Chloride (ZnCl₂)

Zinc klorida merupakan salah satu senyawa zinc yang paling banyak digunakan. Senyawa ini dapat diperoleh sebagai dihidrat, ZnCl₂·2H₂O dan sebagai

batangan-batangan zinc klorida anhidrat. Zinc klorida anhidrat sangatlah mudah laruta dalam air, dalam pelarut-pelarut organik seperti alkohol, aseton dan sifat ini menunjukkan adanya karakter kovalen dalam ikatannya. $ZnCl_2$ itu sendiri bersifat higroskopis dan bahkan deliquescent. Oleh karena itu zat ini harus dilindungi dari sumber kelembaban, termasuk adanya uap air dalam udara ruangan. Zinc klorida dapat digunakan dalam pengaplikasiannya yang luas yaitu dalam pengolahan tekstil, fluks metalurgi, dan sintesis kimia.

Zinc klorida dapat digunakan sebagai fluks dalam pengelasan dan sebagai bahan pengawet kayu gelondongan. Kedua manfaat ini berkaitan dengan sifat kemampuan senyawa ini sebagai asam lewis. Dalam pengelasan, film oksida pada permukaan logam yang akan disambung harus dihilangkan, jika tidak bahan solder tidak akan melekat/menyambung. Pada temperatur diatas $-275^{\circ}C$, zinc klorida meleleh dan melenyapkan film oksida dengan pembentukan senyawa kompleks melalui ikatan kovalen dengan ion oksigen. (Ika Putri Seya,2011)

Tabel 10. Sifat Fisik dan Kimia $ZnCl_2$

Sifat Fisik Kimia	
Rumus Molekul	$ZnCl_2$
Massa Molar	136,315 gr/mol
Penampilan	Zat padat putih berbentuk kristal
Bau	Tidak ada
Densitas	$2,907 \text{ gr/cm}^3$
Titik Didih	$756^{\circ}C$; $1393^{\circ}F$; 1029 K
Kelarutan dalam air	4320 gr/L ($25^{\circ}C$)
Kelarutan dalam alkohol	4300 gr/L
Kelarutan dalam pelarut lain	Larut dalam etanol, gliserol dan aseton

(Sumber : Wikipedia, 2015)

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan oleh permukaan benda penyerap di mana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dan penyerapnya. Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat penyerap akibat ikatan fisika dan kimia. Adsorpsi dalam air limbah sering

mengikuti proses biologis untuk menyisihkan bahan-bahan yang tidak tersisihkan oleh proses biologis, misalnya bahan organik non-biodegradabel. Oleh karena itu adsorpsi sering dikelompokkan sebagai pengolahan tersier (Sawyer dalam Hendra, 2015).

Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Adsorpsi kimia menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaan melalui gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul-molekul pada permukaan. Adsorpsi fisika diakibatkan kondensasi molekular dalam kapiler-kapiler dari padatan. Secara umum, unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi.

Terjadi pembentukan yang cepat sebuah kesetimbangan konsentrasi antarmuka, diikuti dengan difusi lambat ke dalam partikel-partikel karbon. Laju adsorpsi keseluruhan dikendalikan oleh kecepatan difusi dari molekul-molekul zat terlarut dalam pori-pori kapiler dari partikel karbon. Kecepatan itu berbanding terbalik dengan kuadrat diameter partikel, bertambah dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut, bertambah dengan kenaikan temperatur, dan berbanding terbalik dengan kenaikan berat molekul zat terlarut (Freeman dalam Hendra, 2015).

Pada proses adsorpsi dibatasi proses difusi film dan difusi pori yang tergantung pada lamanya kontak antara partikel adsorben dan fluida dalam sistem. Bila lamanya kontak relatif sedikit maka lapisan film yang disekeliling partikel akan tebal sehingga proses adsorpsi berlangsung lambat. Dengan pengadukan yang cukup maka kecepatan difusi film meningkat. Morris dan Weber menemukan bahwa laju adsorpsi bervariasi seiring dengan akar pangkat dua dari waktu kontak dengan adsorben.

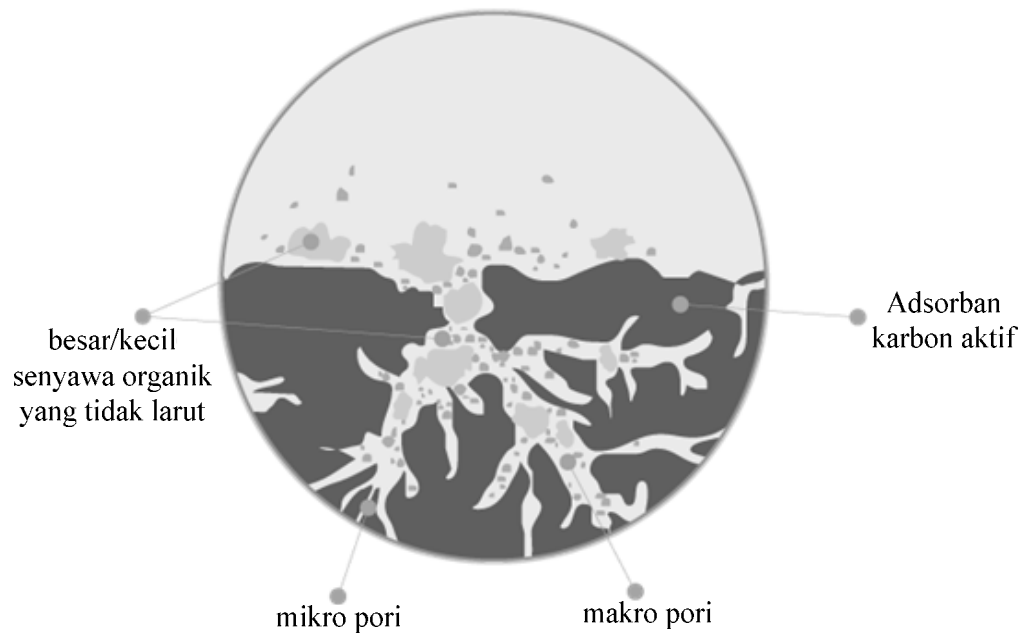
Kecepatan ini juga meningkat dengan menurunnya pH sebab perubahan muatan pada permukaan karbon. Kapasitas adsorpsi dari karbon terhadap suatu zat terlarut tergantung pada dua-duanya, karbon dan zat terlarutnya. Kebanyakan limbah cair adalah kompleks dan bervariasi dalam hal kemampuan adsorpsi dari

campuran-campuran yang ada. Struktur molekul, kelarutan, dsb, semuanya berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi (Rosen dalam Hendra, 2015).

Seperti halnya laju reaksi, banyak faktor yang mempengaruhi kinetika adsorpsi atau cepat atau lambatnya penyerapan terjadi. Kecepatan atau besar kecilnya adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya :

1. Macam adsorben, contoh adsorben yang paling sering digunakan adalah karbon aktif
2. Macam zat yang diadsorpsi (adsorbate), macam zat yang diadsorpsi juga sangat berpengaruh karena semakin banyak zat-zat impuritis (zat pengotor) pada suatu fluida atau larutan maka semakin lambat kinetika atau kecepatan penyerapannya (adsorpsi)
3. Luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan adsorben maka semakin cepat efektif kemampuan menyerap zat-zat impuritis sehingga larutan menjadi lebih murni dan cenderung lebih bersih dari zat-zat impuritis atau zat-zat pengotor tersebut.
4. Konsentrasi zat yang diadsorpsi (adsorbate), semakin tinggi konsentrasi maka ion yang dihasilkan juga semakin banyak sehingga mempengaruhi adsorpsi atau penyerapan larutan tersebut.
5. Temperatur, semakin tinggi temperatur semakin sulit untuk menyerap zat, temperatur lebih efektif digunakan untuk adsorpsi adalah temperatur kamar (suhu ruang, yaitu 298 K)
6. Kecepatan putar sentrifugasi, semakin cepat kecepatan sentrifugasi maka semakin cepat larutan tersebut murni dan hal tersebut biasa dilakukan pada percobaan konduktometri, yaitu daya hantar listriknya yang semakin tinggi pula.

Karbon aktif memiliki kekuatan fisik adsorpsi yang kuat atau volume porositas adsorpsi yang tinggi penyerapan. Karbon aktif dapat memiliki permukaan yang lebih besar dari 1.000 m²/g.



Sumber: Capital Carbon, 2011

Gambar 2. Peristiwa adsorpsi pada karbon aktif