

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah**

Limbah adalah suatu sampah dari suatu lingkungan masyarakat dan terutama terdiri dari air yang telah dipergunakan dengan hampir 0,1 dari padanya berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik. Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit telah mendorong tumbuhnya industri-industri pengolahan, diantaranya pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) yang menghasilkan crude palm oil (CPO). PMKS merupakan industri yang sarat dengan residu pengolahan. PMKS hanya menghasilkan 25-30% produk utama berupa 20-23% CPO dan 5-7% inti sawit (kernel). Sementara sisanya sebanyak 70-75% adalah residu hasil pengolahan berupa limbah. (William; 2011)

Limbah perkebunan kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan dan panen kelapa sawit. Limbah ini digolongkan dalam tiga jenis yaitu limbah padat, cair, gas. (Kurniaty, Elly ; 2008)

##### **a. Limbah Padat**

Salah satu jenis limbah padat industri kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Limbah padat mempunyai ciri khas pada komposisinya

##### **b. Limbah Cair**

Limbah Cair ini berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi dan dari hidrosilikon. Lumpur (sludge) disebut juga lumpur primer yang berasal dari proses klarifikasi merupakan salah satu limbah cair yang dihasilkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit, sedangkan lumpur yang telah mengalami proses sedimentasi disebut lumpur sekunder. Kandungan bahan organik lumpur juga tinggi yaitu pH berkisar 3-5

### c. Limbah Gas

Selain limbah padat dan cair, industri pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah bahan gas. Limbah bahan gas ini antara lain gas cerobong dan uap air buangan pabrik kelapa sawit.

#### **2.1.1 Limbah Cair Pabrik kelapa Sawit**

Limbah cair industri kelapa sawit berasal dari unit proses pengukusan (sterilisasi), proses klarifikasi dan buangan dari hidrosiklon. Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. (Kardila ; 2011)

Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu BOD 25.000 mg/l, dan COD 48.000 mg/l sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Sehingga untuk menurunkan kandungan kadar bahan pencemaran diperlukan degradasi bahan organik. 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 bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota dan dapat menimbulkan bau busuk. (Aswir ; 2006)

Limbah cair pabrik kelapa sawit ini umumnya bersuhu tinggi 70-80°C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berpakoloid dan residu minyak dengan BOD (*biological oxygendemand*) dan COD (*chemicaloxygen demand*) yang tinggi. Apabila limbah cair ini langsung dibuang keperairan dapat mencemari lingkungan. Jika limbah tersebut langsung dibuang keperairan, maka sebagian akan mngendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen terlarut, menimbulkan kekeruhan, mengeluarkan bau yang tajam dan dapat merusak ekosistem perairan. Sebelum limbah cair ini dapat dibuang ke lingkungan harus terlebih dahulu diolah agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l) *
BOD	100
COD	350
Minyak dan lemak	25
pH	6-9

\*Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 tahun 2012

### 2.1.2 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan di PKS adalah (Kardila, Vaine ; 2011)

#### 1. Kolom pengumpulan (fat fit)

Kolam ini berguna untuk menampung cairan-cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi.

#### 2. Kemudian dimasukkan ke unit deoiling ponds untuk dikutip minyaknya dan diturunkan suhunya dari 70-80°C melalui menara atau bak pendingin

#### 3. Kolam Pengasaman

Pada proses ini digunakan mikroba untuk menetralkan keasaman cairan limbah. Pengasaman bertujuan agar limbah cair yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Limbah cair dalam kolam ini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam yang mudah menguap. Waktu penahanan hidrolisis (WHP) limbah cair dalam kolam pengasaman ini lebih dari 5 hari. Kemudian sebelum diolah di unit pengolahan limbah kolam anaerobik, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor hingga mencapai pH antara 7,0-7,5.

#### 4. Kolam anaerobik primer

Pada proses memanfaatkan mikroba dalam suasana anaerobik atau aerobik untuk merombak BOD dan biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas. WHP dalam kolam ini mencapai 40 hari.

#### 5. Kolam anaerobik sekunder

Adapun WHP limbah dalam kolam ini mencapai 20 hari. Kebutuhan lahan untuk kolam anaerobik primer dan sekunder mencapai 7 hektar untuk PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam

#### 6. Kolam pengendapan

Kolam pengendapan ini bertujuan untuk mendapatkan lumpur- lumpur yang terdapat dalam limbah cair. WHP limbah kolam ini berkisar 2 hari. Biasanya ini merupakan pengolahan terakhir sebelum limbah dialirkan ke badan air dan diharapkan pada kolam ini limbah sudah memenuhi standar baku mutu air sungai . (Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit).

### **2.1. 3 Membran Komposit pada Limbah Cair Kelapa Sawit**

Mekanisme kinerja membran komposit dalam mengurangi tingkat pencemaran di perairan dalam industri kelapa sawit pada umumnya sama saja masih menggunakan proses filtrasi, koagulasi, dan sedimentasi bedanya tidak lagi menggunakan kolom anaerob dan aerob tapi menggunakan membran komposit sebagai media yang penting untuk digunakan. Operasi membran berfungsi sebagai penghalang tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder, 1996). Proses pemisahan pada membran terjadi karena adanya proses fisika-kimia antara membran dengan komponen yang akan dipisahkan serta adanya gaya dorong yang berupa gradient konsentrasi, gradient tekanan (Peter,1996).

Untuk menjaga membran agar tidak rusak, perlu dilakukan *pretreatment* yang berupa proses filtrasi, proses koagulasi dimana upaya-upaya tersebut dilakukan untuk memecahkan ikatan emulsi minyak atau air secara kimia dengan menggunakan koagulan (Byers J.D., 1994). Penambahan tawas, yang mempunyai

molekul panjang dari polimer kationik, akan menyebabkan konsentrasi kation dalam larutan meningkat sehingga dapat meningkatkan mobilitas anionik. Proses tersebut diikuti terjadinya netralisasi muatan akibat energi kationik yang menyerang gugus-gugus hidrofobik dari surfaktan, sehingga minyak akan terlepas membentuk *droplets* yang akan berkoalisi membentuk *droplets* yang lebih besar. Secara bersamaan, akibat ionisasi polimer dapat terbentuk aluminium hidroksida dalam bentuk presipitat dan beberapa senyawa kompleks yang dapat larut dalam air yang dilanjutkan dengan terbentuknya polimer baru dalam bentuk polimer hidroksida. Semakin banyak polimer hidroksida yang terbentuk, maka proses koagulasi-flokulasi akan semakin sempurna yang disebabkan oleh adanya jembatan antar polimer dengan partikel.

Setelah emulsi minyak terpecahkan, secara ideal akan terbentuk dua lapisan yang berbeda, lapisan air dan lapisan minyak. Dalam penelitian ini dilakukan *pretreatment* yang ditunjukkan untuk mengurangi beban membran, meningkatkan fluks, menghasilkan permeabilitas tinggi dan diharapkan dapat memperpanjang waktu operasi (*running time*) dari membran.

#### **2.1.4 Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit**

Pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan hasil samping berupa jangjangan kosong, *solid* basah, cangkang, serabut, dan effluent/limbah cair yang dikenal dengan istilah POME (*Palm Oil Mill Effluent*). (Irfaan, Hulman; 2009)

*By product* dari kegiatan pengolahan PKS masing-masing memiliki potensi untuk dimanfaatkan sehingga mempunyai nilai ekonomi yang tidak sedikit. Potensi dan pemanfaatan limbah pengolahan PKS dilihat pada Tabel 2. (PT. SP; 2000)

Tabel 2. Jenis, potensi, dan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit

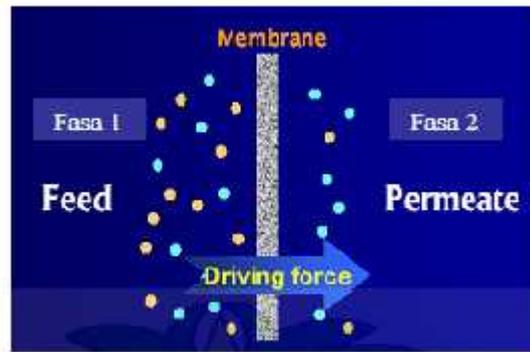
Jenis	Potensi per ton TBS (%)	Manfaat
Tandan kosong	23,0	Pupuk kompos, pulp kertas, papan partikel, energy
Wet Dekanter Solid	4,0	Pupuk, kompas, makanan ternak
Cangkang	6,5	Arang, karbon aktif, papan partikel
Serabut (fiber)	13,0	Energi, pulp kertas, papan partikel
Limbah Cair	50,0	Pupuk air irigasi
Air kondensat		Air umpan boiler

Sumber PT. SP; 2000

## 2.2 Membran

Membran berasal dari bahasa Latin “membrana” yang berarti kulit kertas. Saat ini kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film, bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semipermeabel (Widayanti, N ; 2013).

Proses pemisahan membran berupa perpindahan materi secara selektif karena daya dorong atau penggerak yang berupa perbedaan konsentrasi, tekanan, potensial listrik, atau suhu. Proses pemisahan dengan menggunakan membran ada pemisahan fasa cair-cair umumnya didasarkan atas ukuran partikel dan beda muatan dengan gaya dorong (*diving force*) berupa perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ), perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) perbedaan konsentrasi ( $\Delta C$ ), perbedaaan energi ( $\Delta E$ ), dan medan listrik. Hasil pemisahan berupa retentat (bagian dari campuran yang melewati membran) (Mulder, 1996).



Sumber : Hanum, Farida. (2009)

Gambar 1 . Skema proses pemisahan dengan membran.

### 2.2.1 Keunggulan dan kelemahan Teknologi Membran

Jika dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya, keunggulan dari teknologi membran antara lain adalah :

- Proses pemisahan dapat dilaksanakan secara berkesinambungan (*continuous*)
- Konsumsi energi umumnya rendah
- Dapat dengan mudah dipadukan dengan teknologi pemisahan lainnya (*hybrid*)
- Umumnya dioperasikan dalam kondisi sedang (bukan pada tekanan dan temperatur tinggi) dan sifat membran mudah untuk dimodifikasi
- Mudah untuk melakukan *up-scaling*
- Tidak memerlukan aditif

Namun demikian, dalam pengoperasiannya, perlu juga diperhatikan hal-hal berikut :

- Penyumbatan/*fouling*
- Umur membran yang singkat
- Selektivitas yang rendah

*Fouling* atau penyumbatan merupakan masalah yang sangat umum terjadi, yang terjadi akibat kontaminan yang menumpuk di dalam dan permukaan pori membran dalam waktu tertentu. *Fouling* tidak dapat dielakkan, walaupun membran sudah melalui proses pre-treatment. Jenis *fouling* yang terjadi sangat bergantung

pada berbagai faktor, termasuk diantaranya kualitas umpan, jenis membran, bahan membran, dan perancangan serta pengendalian proses.

Tiga tahapan *fouling* yang sering terjadi pada membran adalah yaitu tahap pertamanya adalah polarisasi konsentrasi kemudian diikuti oleh perpindahan padatan dari permukaan membran ke dalam material membran dan dilanjutkan oleh proses adsorpsi padatan pada pori membran sehingga terjadi penyempitan dan penyumbatan pori.

Polarisasi konsentrasi dan *fouling* dapat membatasi proses pemisahan dengan membran karena menyebabkan nilai fluks menurun sehingga kinerja membran jadi rendah. Polarisasi konsentrasi merupakan peristiwa pembentukan gradien konsentrasi dalam komponen komponen umpan yang tertahan di dekat permukaan membran. Gejala polarisasi konsentrasi dimulai dengan terakumulasinya umpan pada permukaan membran sehingga konsentrasi berangsur-angsur naik. Akibat peningkatan konsentrasi ini, maka timbul aliran difusi balik menuju umpan tetapi setelah beberapa waktu kondisi tunak akan tercapai sehingga polarisasi konsentrasi dapat tercapai . polarisasi konsentrasi berperan penting dalam mengawali terjadinya *fouling*.

Kontaminasi ini menyebabkan perlunya beban kerja lebih tinggi, untuk menjamin kapasitas membran yang berkesinambungan. Pada titik tertentu, beban kerja yang diterapkan akan menjadi terlalu tinggi, sehingga proses tidak lagi ekonomis. *Fouling* dapat diminimalisasi dengan cara menaikkan pH sistem, menerapkan sistem *backwash*, serta penggunaan zat disinfektant untuk mencegah bakteri yang dapat menyerang membran. Sedangkan cara untuk menyingkirkan *fouling* adalah dengan *flushing* atau *chemical cleaning*.

### **2.2.2 Karakterisasi Membran**

Karakterisasi pada membran diklasifikasikan menjadi beberapa uji, yaitu :

#### **1. Fluks Membran**

Kinerja suatu membran ditentukan oleh dua parameter, fluks dan selektifitas. Fluks volume adalah jumlah volume permeat yang diperoleh pada operasi membran persatuan waktu dan satuan luas permukaan membran. Permeabilitas akan menentukan harga fluks yang merupakan volume permeat

yang melewati tiap satuan luas permukaan membran per satuan waktu. Fluks volume dirumuskan pada persamaan 2.1

$$J_v = \frac{V}{A \cdot t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$J_v$  = fluks volume (L/m<sup>2</sup> .Jam)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

t = waktu (Jam)

Aliran selanjutnya sering dinotasikan sebagai fluks yang didefinisikan sebagai volume aliran yang melalui membran per unit area dan waktu. Beberapa satuan SI yang dipakai untuk menyatakan fluks antara lain: L/m<sup>2</sup> jam dan L/m<sup>2</sup> hari. Sebelum uji fluks, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji. Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran hingga diperoleh fluks air yang konstan. Penurunan fluks air akan terjadi karena adanya deformasi mekanik pada matriks membran akibat tekanan yang diberikan. Proses deformasi ini mengakibatkan terjadinya pemadatan pori membran, sehingga nilai fluks menjadi turun (Mulder, 1996).

## 2. Selektifitas membran

Selektifitas membran terhadap campuran secara umum dinyatakan oleh satu dari dua parameter yaitu koefisien rejeksi (R) dan faktor pemisahan ( ). Campuran larutan encer yang terdiri dari pelarut (sebagian besar air) dan zat terlarut lebih sesuai dengan retensi terhadap terlarut. Zat terlarut sebagian atau secara sempurna ditahan sedang molekul pelarut air dengan bebas melalui membran. Rejeksi dinyatakan dalam persamaan 2.3.

$$R = (1 - C_p/C_f) \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

R = Koefisien rejeksi

C<sub>p</sub> = Konsentrasi permeat

$C_f$  = Konsentrasi umpan

R adalah parameter yang tidak berdimensi, sehingga tidak berpengaruh unit konsentrasinya. Nilai R berkisar antara 100% (jika zat terlarut dapat ditahan secara sempurna) dan 0% zat terlarut dan pelarut melalui membran secara bebas (Mulder, 1996).

Menurut Scott dan Hughes, 1996 yang mempengaruhi dalam penggunaan membran diantaranya :

#### 1. Ukuran Molekul

Ukuran molekul membran sangat mempengaruhi kinerja membrane. Pada pembuatan membran mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi mempunyai spesifikasi khusus. Sebagai contoh untuk membran protein kedelai yang dihidrolisis menggunakan ukuran membran 5000 MWCO, 10.000 MWCO dan 50.000 MWCO.

#### 2. Bentuk Membran

Membran dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, bentuk datar, bentuk tabung dan bentuk serat berongga

#### 3. Bahan Membran

Perbedaan bahan membran akan mempengaruhi pada hasil rejeksi dan distribusi ukuran pori.

#### 4. Karakteristik Larutan

Karakteristik larutan ini mempunyai pengaruh terhadap permeabilitas membran. karakteristik larutan ini mempunyai efek pada permeability membran.

#### 5. Parameter Operasional

Jenis parameter yang digunakan pada operasional umumnya terdiri dari tekanan membran, permukaan membran, temperatur dan konsentrasi.

### 2.2.3 Jenis Membran

Berdasarkan asalnya membran dibagi menjadi membran alami dan sintetik. Membran alami biasanya dibuat dari selulosa dan derivatnya seperti

selulosa nitrat dan selulosa asetat. Sedangkan contoh membran sintetik seperti poliamida, polisulfon dan polikarbonat (Widayanti, N ; 2013).

Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahannya, membran dapat dibagi menjadi :

a. Membran berpori

Membran jenis ini memiliki ruang terbuka atau kosong, terdapat berbagai macam jenis pori dalam membran. Pemisahan menggunakan membran ini berdasarkan ukuran pori. Selektivitas ditentukan lewat hubungan antara ukuran pori dan ukuran partikel yang dipisahkan. Jenis membran ini biasanya digunakan untuk pemisahan mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Berdasarkan ukuran kerapatan pori, membran dibagi menjadi tiga, yaitu :

- 1) Makropori : membran dengan ukuran pori  $> 50$  nm,
- 2) Mesopori : membran dengan ukuran pori antara 2 – 50 nm,
- 3) Mikropori : membran dengan ukuran pori  $< 2$  nm (Mulder, 1996).

b. Membran non-pori

Membran non-pori dapat digunakan untuk memisahkan molekul dengan ukuran yang sama baik, baik gas maupun cairan. Membran non-pori berupa lapisan tipis dengan ukuran pori kurang dari  $0,001 \mu\text{m}$  dan kerapatan pori rendah. Membran ini dapat memisahkan spesi yang memiliki ukuran sangat kecil yang tidak dapat dipisahkan oleh membran berpori. Membran non-pori digunakan untuk pemisahan gas dan pervaporasi, jenis membran dapat berupa membran komposit atau membran asimetrik, pemisahannya berdasarkan pada kelarutan dan perbedaan kecepatan difusi dari partikel (Mulder, 1996).

c. *Carrier* Membran (membran pembawa)

Mekanisme perpindahan massa pada membran jenis ini tidak ditentukan oleh membran (atau material dari membran) tetapi ditentukan oleh molekul pembawa yang spesifik yang memudahkan perpindahan spesifik terjadi. Ada dua konsep mekanisme perpindahan dari membran jenis ini yaitu : *carrier* tidak bergerak di dalam matriks membran atau *carrier* bergerak ketika dilarutkan dalam suatu cairan. Permselectivitas terhadap suatu komponen

sangat tergantung pada sifat molekul *carrier*. Selektivitas yang tinggi dapat dicapai jika digunakan *carrier* khusus. Komponen yang akan dipisahkan dapat berupa gas atau cairan, ionik atau non-ionik.

Berdasarkan geometri porinya, membran dibedakan atas membran non komposit dan komposit (Widayanti, N ; 2013).

#### 1) Membran Non Komposit

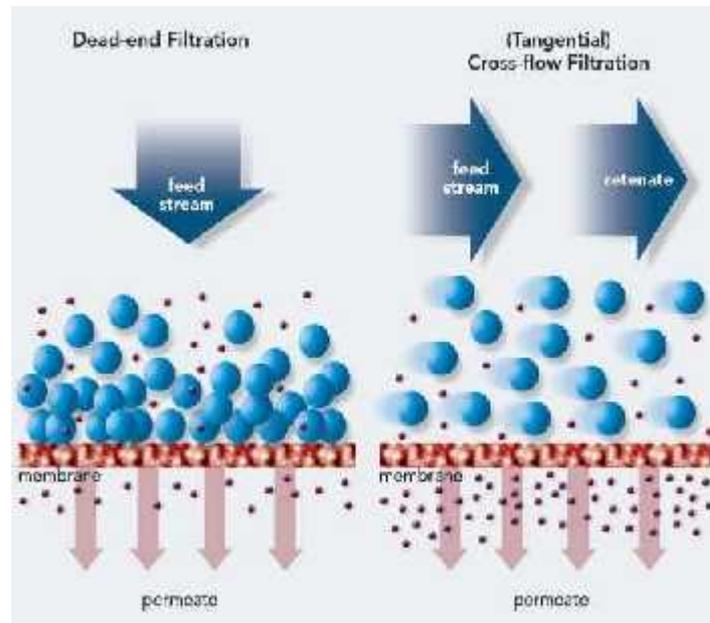
Membran ini mengandung pori dengan ketebalan 10-200  $\mu\text{m}$ . Membran ini memiliki struktur pori yang homogen di seluruh bagian membran. Jenis membran ini kurang efektif karena memungkinkan lebih cepat terjadinya penyumbatan pori dan mengakibatkan *fouling* atau penyumbatan pori pada penggunaannya ( Mulder, 1996 ).

#### 2) Membran Komposit

Membran komposit merupakan membran yang memiliki struktur dan ukuran pori yang tidak seragam, bagian atas membran merupakan lapisan aktif yang memiliki pori rapat dan kecil dengan ketebalan 0,1-0,5  $\mu\text{m}$ , sedangkan bagian bawahnya merupakan lapisan pendukung yang memiliki pori berukuran besar dengan ketebalan 1-50  $\mu\text{m}$ . Pembuatan membran ini terdiri dari dua material yang berbeda. Kelebihan membran ini menghasilkan selektivitas yang lebih tinggi dan permeasi yang tinggi (Mulder, 1996). Selektivitas tinggi disebabkan karena rapatnya lapisan atas membran dan mempunyai kecepatan permeasi yang tinggi karena tipisnya membran. Tingginya laju filtrasi pada membran komposit ini disebabkan mekanisme penyaringan permukaan. Partikel yang ditolak tertahan pada permukaan membran (Mulder, 1996). Tingkat pemisahan membran komposit jauh lebih tinggi dari pada membran non komposit pada ketebalan yang sama. Hal ini disebabkan karena pada membran non komposit, partikel yang melewati pori akan menyumbat pori-pori membran sehingga penyaringan membran menurun drastis (Mulder, 1996).

Berdasarkan sistem operasinya dibedakan atas *system dead-end* dan *crossflow*.

Gambaran mengenai *system dead-end* dan *crossflow* dapat dilihat pada gambar 2.



sumber: Widayanti, N; 2013

Gambar 2. Skema Sistem Operasi Membran

Berdasarkan tekanan yang digunakan sebagai gaya, membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu :

a) Mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi (MF) dapat dibedakan dari membran *reverse osmosis* (RO) dan ultrafiltrasi (UF) berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkannya. Pada membran mikrofiltrasi, garam-garam tidak dapat direjeksi oleh membran. Proses filtrasi dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu di bawah 2 bar. Membran mikrofiltrasi dapat dibuat dari berbagai macam material baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi. Beberapa teknik yang digunakan untuk membuat membran antara lain *sintering*, *track atching*, *stretching*, dan *phase inversion* (Widayanti, N ; 2013).

b) Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 1  $\mu\text{m}$  sampai 1 nm. Ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi merupakan membran berpori dimana rejeksi zat

terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran. Ukuran molekul yang dapat lolos melewati membran ultrafiltrasi berkisar antara  $10^4$ - $10^8$  dalton (Mulder, 1996).

c) *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik atau molekul organik kecil seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya. Membran yang lebih *dense* (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) dengan tahanan hidrodinamik yang lebih besar diperlukan pada proses ini. Hal ini menyebabkan tekanan operasi pada osmosis balik akan sangat besar untuk menghasilkan fluks yang sama dengan proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Pada umumnya, membran osmosis balik memiliki struktur asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan padat serta matriks penyokong dengan tebal 50 sampai 150  $\mu\text{m}$ . Tahanan ditentukan oleh lapisan atas yang rapat (Widayanti, N ; 2013).

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Ultrafiltrasi dan Reverse-Osmosis

Uraian	Ultrafiltrasi	Reverse-osmosis
Fraksi berat molekul	1.000 min	500 max
Tekanan osmosis	Dapat diabaikan	Signinikan
Tekanan operasi	1 sampai 7 kg/cm <sup>2</sup>	20 sampai 140 kg/cm <sup>2</sup>
Mekanisme fraksi	filtrasi	Diffusi
Material membrane	Tidak signifikan	Mempengaruhi fraksi hasil secara signifikan
Distribusi pori-pori halus	signifikan	Tidak nampak
Permiation flow rate	1.0 sampai 10 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .jam	0.1 sampai 1.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam

sumber: Widayanti, N; 2013

#### 2.2.4 Membran Ultrafiltrasi

Proses ultrafiltrasi (UF) berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,05  $\mu\text{m}$  sampai 1 nm. Karakteristik membran umumnya dinyatakan dalam *Molecular Weight Cut Off*

(MWCO), atau berat molekul yang ditolak oleh membran. Berat Molekul yang dapat ditolak oleh membran ultrafiltrasi berkisar antara  $10^4$ - $10^8$  Dalton. Pada prinsipnya membran ultrafiltrasi digunakan untuk memisahkan makromolekul dan koloid dari larutannya. Membran ini merupakan membran berpori di mana rejeksi zat terlarut sangat dipengaruhi oleh ukuran dan berat zat terlarut relatif terhadap ukuran pori membran. Transport pelarut secara langsung berhubungan dengan besarnya tekanan yang diberikan. Membran ultrafiltrasi mempunyai struktur yang asimetrik dengan lapisan atas yang lebih padat (ukuran pori lebih kecil dan porositas permukaan lebih rendah) sehingga mengakibatkan ketahanan hidrodinamikanya lebih tinggi (Widayanti, N ; 2013).

Secara komersial membran-membran ultrafiltrasi biasanya dibuat dari material-material polimer dan teknik yang digunakan adalah teknik inversi fasa. Polimer yang umum digunakan antara lain polimida, polisulfon, selulosa aetat dan lain sebagainya. Pada prinsipnya proses membran ultrafiltrasi telah banyak digunakan untuk memisahkan molekul-molekul besar dari molekul-molekul kecil. Aplikasinya banyak ditemukan dalam berbagai bidang industri seperti makanan, tekstil, farmasi, industri kertas, dan masih banyak lagi yang lain (Mulder, 1996).

### **2.2.5 Teknik Pembuatan Membran**

Teknik-teknik yang digunakan pada proses pembuatan membran antara lain *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching*, pelapisan (*coating*), dan inversi fasa (Widayanti, N ; 2013).

#### *a. Sintering*

*Sintering* adalah teknik yang sangat sederhana, bisa dilakukan baik pada bahan anorganik maupun organik. Bubuk dengan ukuran tertentu dikompresi dan disintering pada temperatur tinggi. Selama sintering antar muka antara partikel yang berkontak hilang membentuk pori. Teknik ini menghasilkan membran dengan ukuran pori 0,1 sampai 10  $\mu\text{m}$ .

#### *b. Stretching*

*Stretching* adalah suatu metode pembuatan membran dimana film yang telah

diekstrusi atau foil yang dibuat dari bahan polimer semi kristalin ditarik searah proses ekstruksi sehingga molekul-molekul kristalnya akan terletak paralel satu sama lain. Jika stress mekanik diaplikasikan maka akan terjadi pemutusan dan terbentuk struktur pori dengan ukuran 0,1 sampai 0,3  $\mu\text{m}$ .

*c. Track-Etching*

*Track-Etching* merupakan metode dimana film atau foil ditembak oleh partikel radiasi berenergi tinggi tegak lurus ke arah film. Partikel akan merusak matriks polimer dan membentuk suatu lintasan. Film kemudian dimasukkan ke dalam bak asam atau basa dan matriks polimer akan membentuk goresan sepanjang lintasan untuk selanjutnya membentuk pori silinder yang sama dengan distribusi pori yang sempit.

*d. Template-Leaching*

*Template-Leaching* merupakan suatu teknik lain untuk membuat membran berpori yaitu dengan cara melepaskan salah satu komponen (*leaching*). Membran gelas berpori dapat dibuat dengan cara ini.

*e. Inversi fasa*

Inversi fasa merupakan salah satu metode pembuatan membran. Inversi fasa adalah suatu proses perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fasa cair ke fasa dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Tahap tertentu selama proses *demixing*, salah satu fasa cair (fasa polimer konsentrasi tinggi) akan memadat sehingga akan terbentuk matriks padat.

### **2.2.6 Inversi Fasa**

Proses pembuatan membran pada umumnya menggunakan metode inversi fasa yaitu perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padatan. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan transisi dari fase satu cairan menjadi fase dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Suatu tahap selama *demixing*, salah satu dari fase cairan tersebut (fase polimer berkonsentrasi tinggi) akan menjadi padat sehingga terbentuk matriks padatan (Widayanti, N ; 2013). Tahapan proses secara umum dalam inversi fasa antara lain: homogenasi,

pencetakan, penguapan sebagian pelarut dengan cara waktu penguapan dan dimasukkan ke dalam bak koagulasi. Metode inversi fasa mencakup berbagai macam teknik pengendapan yaitu :

*a. Pengendapan dengan penguapan pelarut*

Merupakan metode yang paling sederhana. Larutan polimer yang telah dicetak dibiarkan menguap pada suasana *inert* untuk mengeluarkan uap air, sehingga didapatkan membran homogen yang tebal.

*b. Pengendapan fase uap*

Pada metode ini, membran dibuat dengan cara meletakkan cetakan film yang terdiri dari polimer dan pelarut pada suasana uap dimana fase uap mengandung uap jenuh nonpelarut dan pelarut yang sama dengan cetakan film. Konsentrasi pelarut yang tinggi di fase uap mencegah penguapan pelarut dari cetakan film. Pembentukan membran terjadi karena difusi dari nonpelarut ke dalam cetakan film. Membran yang terbentuk adalah membran berpori tanpa lapisan atas.

*c. Pengendapan dengan penguapan terkendali*

Metode ini memanfaatkan perbedaan volatilitas antara pelarut dan nonpelarut. Selama pelarut lebih mudah menguap dari nonpelarut maka perubahan komposisi selama penguapan bergerak ke arah kandungan nonpelarut yang lebih tinggi dan konsentrasi polimer yang lebih tinggi. Membran yang terbentuk adalah membran berkulit.

*d. Pengendapan Termal*

Metode ini membentuk membran dengan cara mendinginkan larutan polimer supaya terjadi pemisahan fase dan penguapan pelarut. Penguapan pelarut sering mengakibatkan terbentuknya membran berkulit untuk mikrofiltrasi. Larutan polimer dengan pelarut tunggal atau campuran lebih diharapkan untuk memudahkan terjadinya pemisahan fasa.

*e. Pengendapan Imersi*

Metode pengendapan imersi adalah metode yang saat ini sering dipakai untuk membuat membran. Larutan polimer dicetak dalam suatu tempat dan dicelupkan ke dalam bak koagulasi yang mengandung nonpelarut. Membran terbentuk karena

pertukaran pelarut dan nonpelarut.

Pembuatan membran Selulosa Asetat dalam penelitian ini menggunakan metode pengendapan imersi. Satu-satunya persyaratan untuk membuat membran dengan metode ini adalah polimer yang digunakan harus larut pada pelarutnya atau campurannya. Syarat ini dimaksudkan agar dapat terjadi *liquid-liquid demixing*. *Demixing* ini merupakan proses awal pematatan untuk membentuk membran dan akan terjadi pertukaran pelarut dengan nonpelarut pada membran tersebut. Pertukaran pelarut ini menyebabkan polimer tersebut membentuk matriks padatan dan menjadi membran.

### **2.2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Morfologi Membran**

#### **a. Jenis Sistem Pelarut nonpelarut**

Pemilihan sistem pelarut-nonpelarut sangat mempengaruhi struktur membran yang dihasilkan. Nonpelarut yang digunakan sebagai koagulan harus dapat larut dalam pelarut. Air adalah nonpelarut yang umum digunakan dalam proses inversi fasa. Air adalah nonpelarut yang umum digunakan dalam proses inversi fasa.

Proses pencampuran dapat berlangsung secara sempurna jika komposisi semua bahan penyusun membran mempunyai daya larut yang sama. Di samping itu komposisi total sangat menentukan homogenitas dan kinerja membran.

Kelarutan polimer berkurang dengan bertambahnya massa molekul. Jika suatu polimer dapat larut dalam pelarut yang cocok kemudian ditambahkan bukan pelarut (jika larutan polimer dituangkan ke dalam bukan pelarut yang jumlahnya berlebihan) maka polimer akan mengendap.

#### **b. Pemilihan polimer (jenis polimer)**

Merupakan salah satu faktor penting karena akan membatasi jenis pelarut dan nonpelarut yang digunakan. Pemilihan material membran menjadi penting dengan memperhatikan faktor fouling (efek adsorpsi, karakteristik hidrofilik/ hidrofobik), kestabilan termal dan kimia.

c. Komposisi pelarut

Komposisi pelarut merupakan parameter lain yang sangat mempengaruhi jenis struktur membran yang terbentuk.

d. Komposisi bak koagulasi

Penambahan pelarut ke dalam bak koagulasi adalah parameter lain yang sangat mempengaruhi jenis struktur membran yang terbentuk. Jumlah pelarut maksimum yang dapat ditambahkan ditentukan oleh posisi binodal. Seperti gambar 2.2, saat binodal berganti arah mendekati sumbu polimer/pelarut, maka pelarut yang dapat ditambahkan ke dalam bak koagulasi akan lebih banyak. Jika bak koagulasi hanya mengandung air murni, *instantaneous demixing* akan terjadi karena jalur komposisi awal akan memotong binodal.

e. Komposisi larutan polimer

Komposisi larutan polimer harus tetap berada pada satu fasa sehingga tidak terjadi demixing, sehingga penambahan bahan lain dalam larutan polimer akan mempengaruhi struktur membran. Penambahan air sebagai non pelarut ke dalam larutan polimer menyebabkan terjadinya peristiwa *instantaneous demixing*. Apabila larutan polimer tidak mengandung air pembentukan membran terjadi melalui mekanisme pemisahan tertunda (*delayed demixing*) sehingga diperoleh membran *non porous* (Mulder, 1996).

f. Waktu penguapan larutan dope

Waktu penguapan ini berkaitan dengan berapa kuantitas pelarut yang meninggalkan film polimer ketika proses pembentukan pori-pori membran sedang berlangsung. Dalam hal ini pelarut berfungsi sebagai pembentuk pori. Saat pori terbentuk, pelarut berada dalam pori-pori tersebut kemudian disesak oleh nonpelarut dalam bak koagulasi hingga terjadi solidifikasi. Sebelum solidifikasi, penguapan pelarut menyebabkan pori yang sudah terbentuk menyatu kembali. Semakin lama waktu penguapan, semakin sedikit dan semakin kecil diameter pori yang terbentuk (Kesting, 1971).

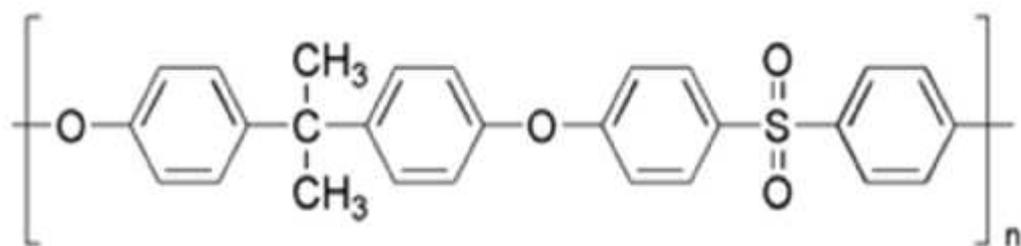
g. Penambahan aditif

Aditif memiliki fungsi yang spesifik. Fungsi tersebut meliputi perlindungan terhadap pengaruh lingkungan seperti penolak nyala, penyerap radiasi ultraviolet,

antioksidan, antiozon (stabilitas termal dan kimia), mempermudah pemrosesan, memperbaiki kekuatan mekaniknya (Widayanti, N ; 2013). Efek aditif pada larutan casting tergantung pada sejauh mana pengaruh aditif pada tingkat pengendapan dalam hal ini aditif yang dimaksud ialah MSG. Aditif dalam larutan casting meningkatkan tingkat pengendapan, tetapi jika aditif, misalnya untuk benzene ada dalam larutan casting akan cenderung untuk mengurangi tingkat pengendapan (Idris *et al.*,2008).

### 2.3 Polysulfon

*Polysulfon* merupakan keluarga polimer termoplastik. Polimer ini dikenal karena ketangguhan dan stabilitas pada suhu tinggi. Polisulfon mengandung subunit aril - SO<sub>2</sub> - aril, ciri yang merupakan kelompok sulfon. *Polysulfones* diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Union Carbide. Karena tingginya biaya bahan baku dan pengolahan, *polysulfones* digunakan dalam aplikasi khusus dan sering sebagai pengganti unggul untuk polikarbonat.



sumber : Gigih Prasetyo, G dkk.; 2013

Gambar 3. Rantai Polimer Polisulfon

Polisulfon merupakan suatu polimer yang memiliki berat molekul besar, mengandung gugus sulfonat dan inti benzene dalam suatu rantai polimer utama. Polisulfon memiliki sifat yang keras, rigid, termoplastis dan punya temperatur transisi gelas (T<sub>g</sub>) antara 180<sup>0</sup> - 250<sup>0</sup> C. Rigiditas rantai secara relative dapat diturunkan dari ketidak lenturan dan keimobilan gugus fenil dan SO<sub>2</sub>, sedangkan kekerasannya muncul karena adanya gugus eter (Gigih Prasetyo, G dkk.; 2013).

Polisulfon bersifat hidrofobik karena mempunyai gugus aromatik pada

struktur kimianya dan memiliki kelarutan yang rendah dalam larutan alifatik rendah tetapi masih bisa larut dalam beberapa pelarut polar.

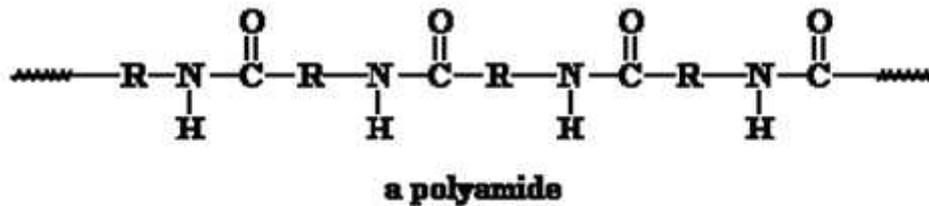
Polisulfon adalah polimer yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran. Hal ini dikarenakan memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi, rentang pH yang lebar 1 – 13, memiliki resistansi yang baik terhadap klorin, serta mudah dipabrikasi (Gigih Prasetyo, G dkk.; 2013).

### **2.3.1 Sifat Fisik dan Kimia Polisulfon**

- Tahan terhadap panas (termoplastik)
- Kaku dan transparan
- Stabil antara pH 1,5-13
- Tidak larut atau rusak oleh asam-asam encer atau alkali
- Punya kekuatan tarik yang baik

## **2.4 Polyamide**

Polyamide (Poliamida) adalah polimer yang terdiri dari monomer amida yang bergabung dengan ikatan peptida. Poliamida dapat terbentuk secara alami ataupun buatan. Salah satu bentuk poliamida alami yaitu protein, seperti wol dan sutera. Poliamida dapat dibuat secara artifisial melalui polimerisasi atau sintesis (fase padat). Contoh poliamida buatan diantaranya nilon, aramid dan sodium poly(aspartat). Poliamida biasanya digunakan dalam industri tekstil, otomotif, karpet dan pakaian olahraga karena memiliki sifat kuat dan daya tahan yang ekstrim.



sumber : Gigih Prasetyo, G dkk.; 2013

Gambar 4. Rantai Polimer Poliamid

Poliamida pertama kali dibuat oleh W. Carothers pada tahun 1928 dengan nama dagang nylon. Poliamida dibuat dari hasil reaksi senyawa diamina dan dikarboksilat. Poliamida yang pertama dibuat dari heksametilendiamina dan asam adipat. Serat nylon adalah serat yang terdiri dari pengulangan gugus amida. Sifat dan karakteristik poliester dan poliamida merupakan serat buatan yang akan meleleh pada suhu tinggi  $200^{\circ}\text{C}$ - $250^{\circ}\text{C}$ . Serat tersebut melunak kemudian meleleh dinamakan Transisi Gelas (perubahan sifat serat dari melunak karena meleleh). Pengerjaan panas yang tinggi dapat menyebabkan serat menjadi rusak, begitu pun dengan poliamida (nylon). Tetapi sifat meleleh dari poliamida lebih rendah dibandingkan dengan poliester. Poliamida dapat meleleh dengan suhu  $150^{\circ}\text{C}$ . Pemberian nama kepada salah satu jenis poliamida adalah berdasarkan pada jumlah atom karbon pada diamina, asam dikarboksilat dan asam aminonya.

#### 2.4.1 Sifat Fisik dan Kimia Poliamid

- Moisture Regain poliamida pada suhu  $21^{\circ}\text{C}$  adalah 4,2 %.
- Titik leleh suhu  $263^{\circ}\text{C}$  dalam atmosfer nitrogen. Sedangkan diudara meleleh pada suhu  $250^{\circ}\text{C}$ .
- Berat jenis poliamida adalah 1,14
- Tahan terhadap asam – asam encer, dengan HCl pekat mendidih beberapa jam akan menjadi asam adipat dan heksa metilena diamonium hidroklorida.

- Tidak terpengaruh alkali. Poliamida dengan NaOH 10 % pada suhu 85°C selama 10 jam hanya mengurangi kekuatan poliamida sebanyak 5 %.
- Untuk melarutkan poliamida dipakai pelarut : asam foriat, kresol, fenol, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat.

## 2.5 Uji Kualitas Air Limbah

### 2.5.1 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH menyatakan intensitas kemasaman atau alkalinitas dari suatu cairan encer, dan mewakili konsentrasi ion hidrogennya, pH tidak mengukur seluruh kemasaman atau seluruh alkalinitas (Soemarwoto, 1987). Menurut Saeni (1989), nilai pH suatu perairan mencirikan keseimbangan antara asam dan basa dalam air dan merupakan pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan. Adanya karbonat, hidroksida, dan bikarbonat menaikkan kebasaan air. Sedangkan adanya asam-asam mineral bebas dan asam karbonat menaikkan kemasaman. Perairan yang bersifat asam lebih banyak dibandingkan dengan perairan alkalis. Nilai pH air dapat mempengaruhi jenis dan susunan zat dalam lingkungan perairan dan mempengaruhi tersedianya unsur hara, serta toksitas dari unsur-unsur renik.

Pada  $\text{pH} < 4$ , sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi terhadap pH rendah. Namun ada sejenis algae yaitu *Chlamydomonas acidophila* mampu bertahan pada  $\text{pH} = 1$  dan algae *Euglena* pada  $\text{pH} 1,6$ . Pengaruh nilai pH pada komunitas biologi perairan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh pH Terhadap Komunitas Biologi Perairan

<b>Nilai pH</b>	<b>Pengaruh Umum</b>
6,0 – 6,5	1. Keanekaragaman plankton dan bentos sedikit menurun
5,5 – 6,0	2. Kelimpahan total, biomassa, dan produktivitas tidak mengalami
	1. Penurunan nilai keanekaragaman plankton dan bentos Semakin tampak
5,0 – 5,5	2. Kelimpahan total, biomassa, dan produktivitas masih belum mengalami perubahan yang berarti
	1. Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton, perifilton dan bentos semakin besar
4,5 – 5,0	2. Terjadi penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos
	3. Algae hijau berfilamen semakin banyak
	1. Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton, perifilton dan bentos semakin besar
	2. Penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos
	3. Algae hijau berfilamen semakin banyak

Sumber : Modifikasi Baker *et al.*, 1990

### 2.5.2. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia dalam jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses biologis dan dapat menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Kadar COD limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda bergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan 8 tahun 2012 kadar maksimum COD limbah cair kelapa sawit berkisar 350 mg/l.

Sehingga limbah cair kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

### **2.5.3. Biological Oxygen Demand (BOD)**

Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat organik yang terlarut dalam sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Kadar BOD limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda bergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan 8 tahun 2012 kadar maksimum BOD limbah cair kelapa sawit berkisar 100 mg/l. Sehingga limbah cair kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

### **2.5.4. Asam Lemak Bebas (ALB)**

Asam lemak bebas diperoleh dari proses hidrolisa, yaitu penguraian lemak atau trigliserida oleh molekul air yang menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Asam lemak bebas terbentuk karena proses oksidasi dan hidrolisa enzim selama pengolahan dan penyimpanan. Dalam bahan pangan, asam lemak dengan kadar lebih besar dari 0,2% dari berat lemak akan mengakibatkan rasa yang tidak diinginkan dan kadang-kadang meracuni tubuh. Pada pengolahan minyak kelapa biasa atau minyak goreng secara tradisional dihasilkan minyak kelapa bermutu kurang baik. Hal tersebut ditandai dengan adanya kadar air dan asam lemak bebas yang cukup tinggi di dalam minyak kelapa. Bahkan warnanya agak kecoklatan sehingga cepat menjadi tengik. Daya simpannya tidak lama, hanya sekitar dua bulan. Untuk memperbaiki mutu minyak tersebut, dilakukan pengujian untuk memperbaiki teknik pengolahan minyak kelapa. Asam lemak bebas sangat berkaitan dengan mutu minyak. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi menyebabkan mutu minyak menjadi rendah (Wardhana, 2006).

Kadar minyak dan lemak limbah cair kelapa sawit dapat berdasarkan baku mutu limbah cair industri minyak kelapa sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan 8 tahun 2012 kadar maksimum minyak dan lemak limbah cair kelapa sawit berkisar 25 mg/l. Sehingga limbah cair kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.