

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah 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 Limbah Cair Kelapa Sawit (Palm Oil Mill Effluent atau POME) merupakan limbah yang berasal dari pemrosesan Crude Palm Oil (CPO) dari buah kelapa sawit (Fresh Fruit Bunch atau FFB). Diperkirakan bahwa dari 1ton FFB akan menghasilkan 0.6 ton limbah POME. Limbah POME berbentuk koloid suspensi dengan kandungan air 95-96%, 0.6-0.7 % minyak dan 4-5% total padatan termasuk didalamnya 2-4% padatan tersuspensi (H-Kittikun., 2000).

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 dan gas.

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.

2.2 Limbah Cair Pabrik kelapa Sawit

2.2.1 Pengetian 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. Oleh sebab itu 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 (Kardila, 2011).

Limbah cair pabrik kelapa sawit ini umumnya bersuhu tinggi 70-80°C, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid 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 (Kardila, 2011)

2.2.2 Standar Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

Table. 1 Standar Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/ton)
BOD	100	0,25
COD	350	0,88
TDS	100	0,63
Minyak dan lemak	25	0,0063
Nitrogen total (sebagai N)	50,0	0,125

Sumber :Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 tahun 2012

2.2.3 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan di PKS adalah

1. Kolom pengumpulan (fat fit)

Kolam ini berguna untuk menampung cairan-cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi. Kemudian dimasukkan ke unit *deoiling ponds* untuk dikutip minyaknya dan diturunkan suhunya dari 70-80°C melalui menara atau bak pendingin.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Kolam pengendapan

Kolam 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).

2.2.4 Pemanfaatan Limbah Cair 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*).

Tabel 2. Potensi dan pemanfaatan limbah pengolahan PKS

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

Sumber : PT. SP, 2000)

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 disajikan pada Tabel. 2.

2.3 Membran

Membran didefinisikan sebagai suatu media berpori, berbentuk film tipis, bersifat semipermeabel yang berfungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran molekuler (spesi) dalam suatu sistem larutan. Spesi yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori membran akan tertahan sedangkan spesi dengan ukuran yang lebih kecil dari pori membran akan lolos menembus pori membran (Kesting, 2000).

2.4 Klasifikasi membran

Membran yang digunakan dalam pemisahan molekul dapat diklasifikasikan berdasarkan morfologi, kerapatan pori, fungsi, struktur, dan bentuknya.

2.4.1 Berdasarkan morfologinya

Dilihat dari morfologinya, membran dapat digolongkan dalam dua bagian (Kesting, 2000) yaitu :

a. Membran Asimetrik

Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya. Ukuran dan kerapatan pori untuk membran asimetris tidak sama, dimana ukuran pori dibagian kulit lebih kecil dibandingkan pada bagian pendukung. Ketebalan lapisan tipis antara 0,2-1,0 μm dan lapisan pendukung sublayer yang berpori dengan ukuran antara 50-150 μm .

b. Membran Simetrik

Membran simetris adalah membran yang mempunyai ukuran dan kerapatan pori yang sama disemua bagian, tidak mempunyai lapisan kulit. Ketebalannya berkisar antara 10-200 μm . Membran ultrafiltrasi terdiri atas struktur asimetris dengan lapisan kulit yang rapat pada suatu permukaan. Struktur demikian mengakibatkan solut didalam umpan tertahan dipermukaan membran dan mencegah terjadinya pemblokiran didalam pori.

2.4.2 Berdasarkan kerapatan pori

Dilihat kerapatan porinya, membran dapat dibedakan dalam dua bagian (Kesting, 2000) yaitu :

a. Membran rapat (Membran tak berpori)

Membran rapat ini mempunyai kulit yang rapat dan berupa lapisan tipis dengan ukuran pori dari $0,001 \mu m$ dengan kerapatan lebih rendah. Membran ini sering digunakan untuk memisahkan campuran yang memiliki molekul-molekul berukuran kecil dan ber BM rendah, sebagai contoh untuk pemisahan gas dan pervaporasi. Permeabilitas dan selektifitas membran ini ditentukan oleh sifat serta *type* polimer yang digunakan.

b. Membran berpori

Membran ini mempunyai ukuran lebih besar dari $0,001 \mu m$ dan kerapatan pori yang lebih tinggi. Membran berpori ini sering digunakan untuk proses ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, hyperfiltrasi. Selektifitas membran ini ditentukan oleh ukuran pori dan pengaruh bahan polimer.

2.4.3 Berdasarkan fungsinya

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya gaya dorongan (ΔP) yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran. Berdasarkan fungsinya membran dibagi menjadi tujuh macam, yaitu membran yang digunakan pada proses reverse osmosis, ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dialisa, dan elektrodialisa (Wenten, 1996).

a. Reverse Osmosis

Reverse osmosis merupakan proses perpindahan pelarut dengan gaya dorong perbedaan tekanan, dimana beda tekanan yang digunakan harus lebih besar dari beda tekanan osmosis. Ukuran pori pada proses osmosa balik antara $1-20 \mu m$ dan berat molekul solut yang digunakan antara $100-1000$. Dengan adanya pengembangan membran asimetris proses osmosis balik menjadi sempurna, terutama digunakan untuk memproduksi air tawar dari air laut.

b. Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi mempunyai dasar kerja yang sama dengan osmosa balik, tetapi berbeda dengan ukuran porinya. Untuk ultrafiltrasi ukuran diameter pori yang digunakan yaitu $0,01-0,1 \mu m$ dengan BM solut antara $1000-500.000 \text{ g/mol}$. Proses pemisahannya ukuran molekul yang lebih kecil dari diameter pori akan menembus membran, sedangkan ukuran molekul yang lebih besar akan tertahan oleh membran.

c. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi mempunyai prinsip kerja yang sama dengan ultrafiltrasi, hanya berbeda pada ukuran molekul yang akan dipisahkan. Pada mikrofiltrasi ukuran molekul yang akan dipisahkan 500-300.000 γ , dengan BM solut dapat mencapai 500.000 g/mol, karena itu proses mikrofiltrasi sering digunakan untuk menahan partikel-partikel dalam larutan suspensi.

d. Dialisa

Dialisa merupakan proses perpindahan molekul (zat terlarut atau solut) dari suatu cairan ke cairan lain melalui membran yang diakibatkan adanya perbedaan potensial kimia dari solut. Membran dialisa berfungsi untuk memisahkan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan berat molekul kecil. Proses secara dialisa sering digunakan untuk pencucian darah pada penderita penyakit ginjal.

e. Elektrodialisa

Elektrodialisa merupakan proses dialisa dengan menggunakan bantuan daya dorong potensial listrik. Elektrodialisa berlangsung relatif lebih cepat dibandingkan dengan dialisa. Pemakaian utamanya adalah desalinasi (penurunan kadar garam) dari juice.

f. Pervaporasi

Pervaporasi merupakan proses perpindahan massa melalui membran dengan melibatkan perubahan fasa didalamnya dari fasa cair ke fasa uap. Gaya dorong proses pervaporasi adalah perbedaan aktifitas pada kedua sisi membran yang menyebabkan terjadinya penguapan karena tekanan parsial lebih rendah daripada tekanan uap jenuh.

Pada umumnya selektifitas pervaporasi adalah tinggi, proses pervaporasi sering digunakan untuk memisahkan campuran yang tidak tahan panas dan campuran yang mempunyai titik azeotrop. Proses pemisahan secara pervaporasi menggunakan membran non pori/dense dan asimetris. Keunggulan proses pervaporasi penggunaan energi relatif rendah.

2.4.4 Berdasarkan strukturnya

Berdasarkan strukturnya, membran dibedakan menjadi dua golongan (Mulder, 1996), yaitu :

a. Membran Homogen

Membran Homogen merupakan membran yang tidak berpori, mempunyai sifat sama setiap titik, tidak ada internal layer dan dalam perpindahan tidak ada hambatan.

b. Membran Heterogen

Membran Heterogen adalah suatu membran berpori atau tidak berpori, tersusun secara seri dari *type* yang berbeda, sehingga dalam perpindahan mengalami hambatan.

2.4.5 Berdasarkan bentuknya

Berdasarkan bentuknya membran dapat dibagi menjadi dua macam yaitu:

a. Membran Datar

Membran datar mempunyai penampang lintas besar dan lebar. Pada operasi membran datar terbagi atas :

1. Membran datar yang terdiri dari satu lembar saja
2. Membran datar bersusun yang terdiri dari beberapa lembar tersusun bertingkat dengan menempatkan pemisah antara membran yang berdekatan

b. Membran spiral

Membran spiral bergulung yaitu membran datar yang tersusun bertingkat kemudian digulung dengan pipa sentral membentuk spiral.

c. Membran Tubular

Membran tubular adalah membran yang membentuk pipa memanjang. Membran jenis ini terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Membran serat berongga ($d < 0,5$ mm)
2. Membran kapiler (d 0,5-5,0 mm)
3. Membran tubular ($d > 5,0$ mm)

2.5 Membran Komposit

Membran Komposit adalah jenis membran asimetrik yang memiliki dari dua atau lebih bahan di mana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit) sehingga membentuk lapisan tipis yang

merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya (Hariayanti R.S, 2008). Pada penelitian Indah Fajarwati (2012) telah dibuat membran Komposit yang terbuat dari bahan baku Kitosan dan Polivinil alcohol (PVA).

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 μm , sedangkan bagian bawahnya merupakan lapisan pendukung yang memiliki pori berukuran besar dengan ketebalan 1-50 μm . 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 membrane 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).

2.5.1 Pengolahan Pome pada Membran Komposit

Pengolahan 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 (Siswanto. dkk : 2016). Pemilihan kitosan sebagai salah satu bahan penyusun membran komposit ini dikarenakan tidak beracun dan mudah dalam membentuk membran atau film.

Kitosan dan PVA dengan rantai polimer dapat berinteraksi secara hidrofobik, agregasi, ikatan hidrogen/intra-molekul. Kinerja yang baik dari kitosan dalam menyerap ion logam berat berhubungan dengan kapabilitas amina

kitosan untuk membentuk ikatan kompleks pada permukaan logam berat dalam air. Pori yang terbentuk memberikan media penyerap untuk aksesibilitas logam berat karena adanya resistensi perpindahan massa dalam struktur berpori (Zeng et al., 2004), sehingga memungkinkan untuk membentuk membran kitosan yang hidrofobik dan kuat.

2.5.2 Bahan Baku Utama Membran Komposit

A. Kitosan

Kitosan adalah bahan kimia multiguna berbentuk serat dan polimer berbentuk lembaran tipis, berwarna putih atau kekuning-kuningan, tidak berbau. Kitosan sendiri dipilih karena sumber kitosan cukup melimpah di alam. Selain itu kitosan sendiri terpilih karena sumber kitosan cukup melimpah di alam. Kitosan juga biopolimer yang efektif untuk digunakan sebagai absorben logam berat dikarenakan sifat yang tidak beracun. Dengan prinsip daur ulang limbah dari kulit udang dan cangkang kepiting dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kitosan dengan cara mengubah kitin dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kitosan dengan cara mengubah kitin menjadi kitosan. Kitosan juga dapat dibentuk menjadi film tipis (Hassan dan Sulaiman, 1996).

Di sisi lain kitosan bersifat basa dan mudah larut dalam media asam banyak digunakan untuk pembuatan gel dalam beberapa variasi konfigurasi seperti butiran, membran, pelapis, kapsul, serat dan spon (Krajweska, 2001). Namun, kitosan dalam pembuatan membran memiliki sifat mekanik yang rendah yaitu mudah rapuh dan tidak cocok dalam kondisi kering (cheng, 2010).

Kitosan merupakan senyawa polimer alam yang yang turun kitin yang diisolasi dari limbah perikanan, seperti kulit udang dan cangkang kepiting dengan kandungan kitin antara 65-70 persen. Sumber bahan baku kitosan diantara lainnya kalakjengking, jamur, cumi, gurita, serangga, laba-laba dan ulat sutera dengan kandungan kitin antara 5-45 persen.

Kitosan merupakan bahan kimia multiguna berbentuk serat dan merupakan kopolimer berbentuk lembaran tipis, berwarna putih atau kuning, tidak berbau. Kitosan merupakan produk deasetilasi kitin melalui proses kimia menggunakan basa *natrium hidroksida* atau proses enzimatis menggunakan enzim *chitin deacetylase*. Serat ini bersifat tidak dicerna dan tidak diserap tubuh. Sifat

menonjol kitosan adalah kemampuan mengabsorpsi lemak hingga 4-5 kali beratnya (Rismana, 2006).

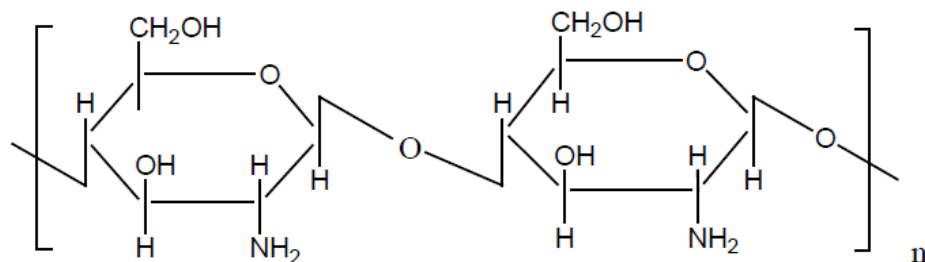
Kitosan juga disebut senyawa kimia berasal dari bahan hayati kitin, suatu senyawa organik yang melimpah di alam ini setelah *selulosa*. Kitin ini umumnya diperoleh dari kerangka hewan Invertebrata dari kelompok *Arthropoda sp*, *Molusco sp*, *Coelenterata sp*, *Ananelida sp*, *Nematoda sp*, dan berapa dari kelompok jamur selain dari kerangka hewan Invertebrata, juga banyak ditemukan pada bagian insang ikan, trakea, dinding usus dan pada kulit cumi-cumi. Sebagai sumber utama ialah cangkang *Crustaceae sp* yaitu udang yaitu udang, lobster, kepiting, dan hewan yang yang bercangkang lainnya, terutama asal laut. Sumber ini diutamakan kerana bertujuan untuk memberdayakan limbah udang (Hawab,2005)



Gambar. 1 Kitosan

a. Struktur Kitosan

Kitosan sebagai poli (β -(1,4)-2-amino-2-Deoksi-D-Glukopiranos). Kitosan bukan merupakan senyawa tunggal, tetapi merupakan kelompok yang terdeasetilasi sebagian dengan derajat polimerisasi yang berbeda. Kitosan adalah kitin yang terdeasetilasi sebanyak mungkin dengan derajat deasetilasi antara 80-90% (Uragami, 2006).



Gambar. 2 Struktur kimia *chitosan* (Sumber: Teng (2012))

b. Sifat – Sifat Kimia dan Biologi Kitosan

Polisakarida yang terdapat secara alami seperti *selulosa*, dekstran, pektin, asam alginat, agar karangem bersifat netral atau asam di alam, sedangkan kitosan merupakan polisakarida yang bersifat basa (Kumar, 2000). Menurut Rismana (2006) sifat alami kitosan dapat dibagi menjadi dua sifat besar yaitu, sifat kimia dan biologi.

Sifat kimia kitosan antara lain:

- Polimer poliamin berbentuk linear
- Mempunyai gugus amino aktif
- Mempunyai kemampuan mengikat beberapa logam

Sifat biologi kitosan antara lain :

- Bersifat biokompatibel artinya sebagai polimer alaminya sifatnya tidak mempunyai akibat samping, tidak beracun, tidak beracun, tidak dapat dicerna, mudah diuraikan oleh mikroba (*biodegradable*).
- Dapat berikatan dengan sel mamalia dan mikroba secara agresif.
- Bersifat hemostatik, fungsistatik, spermisidal, antitumor, antikolestrol.
- Bersifat sebagai depresen pada sistem saraf pusat. Berdasarkan kedua sifat tersebut maka kitosan mempunyai sifat fisik khas yaitu mudah dibentuk menjadi spons, larutan, pasta, membran dan serat. Yang sangat bermanfaat (Rismana, 2006).

Kitosan dengan bentuk amino bebas tidak terlalu larut dalam air pada PH lebih dari 6,5 sehingga memerlukan asam untuk melarutkan. Kitosan dalam larut asam asetat dan asam formiat encer. Adanya dua gugus hidroksil pada kitin sedangkan kitosan dengan gugus 1 amino dan 2 gugus hidroksil merupakan target dalam modifikasi kimiawi (Hirano, dkk, 1987).

Sifat kitosan adalah linier polielektrolit, bermuatan positif, flokulan yang sangat baik, pengkelat ion-ion logam. Sifat biologi kitosan adalah non toksik, polimer alami sedangkan sifat kimia seperti linear poliamin, gugus amino dan gugus hidroksil yang reaktif. Aplikasi kitosan dalam

berbagai bidang tergantung sifat-sifat kationik, biologi dan kimianya (Sandford dan Hutchings, 1987).

c. Kelarutan Kitosan

Kitosan disebut juga dengan β -1, 4-2 amino -2-dioksi-D-glokosa merupakan senyawa yang sedikit larut dalam HCL, HNO₃, H₃PO₄ dan tidak larut dalam H₂SO₄. Kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi dan bersifat Polielektrolitik. Disamping itu mudanh berinteraksi dengan zat-zat organik lain seperti protein. Oleh karena itu, kitosan relatif lebih banyak digunakan berbagi bidang industri terapan dan kesehatan.kitoasan tidak larut dalam alkali dan asam minral pada PH di atas 6,5. Dengan sejumlah asam maka dapat larut dengan air-metanol, air-etanol, air-aseton dan campuran lainnya. Kitosan larut dalam larutan asam formiat dan asam asetat dan menurut peniston dalam 20% asam nitrat juga dapat larut. Asam organik lainnya juga tidak dapat memerlukan kitosan, asam-asam anorganik lainnya pada PH tertentu setelah distireer dan dipanaskan dan asam nitrat juga melarutkan kitosan pada sebagian kecil setelah beberapa waktu akan terbentuk endapan putih yang menyerupai jelly (Widodo, . 2005).

d. Metode penyediaan kitosan

Metode penyediaan kitosan pertama kali dilakukan oleh *Hope-Seyler* (1984) yaitu dengan merefluks kitin dalam kalium hidroksida pada suhu 180⁰C. Dimana proses deasilatasi jitin dilakukan tanpa pemutusan rantai polimernya. Penyediaan kitosan antara lain (Muzzrelli, 1977).

1. Metode *Harowitz*

Kitin dilarutkan dengan kalium hidroksida dan campuran logam nikel di bawah aliran gas nitrogen. Campuran dipanaskan pada suhu 180⁰C selama 30 menit, setelah itu masukan ke dalam etanol dan akan mengendap kemudian hasil hasil yang diperoleh dicuci dengan air suling. Hal yang sama di lakukan dengan pelarut pertama di dalam 5% asam aseta di mana NaOH yang berlebih akan mengendap. Metode ini dapat menghasilkan 95% dari pada asetil dalam rantai kitin.

2. Metode *Rigby dan Wolfrom*

Kitin dicampur dengan 40% NaOH pada suhu 115⁰C selama 6 jam

di bawah keadaan yang mengandung nitrogen, kemudian didinginkan dan seterusnya dicuci dengan air untuk menetralkan campuran tadi. Metode ini dapat menghasilkan 82% dari pada asetil pada rantai kitin.

3. Metode Fujita

Kitin dicampur dengan 50% NaOH dan larutan parafin selama 2 jam suhu 120°C , campuran tersebut dituangkan dalam air dan seterusnya disaring dan di bilas dengan air suling. Metode ini lebih bagus dibandingkan dengan metode karena hanya memerlukan sedikit nalkali dibandingkan dengan metode lain.

4. Metode Alimuniar dan Zainuddin

Pada metode ini kitin 10 gr dicampurkan dengan 50% NaOH sebanyak 140 ml dalam beaker gelas 500ml pada temperatur 30°C dan dibiarkan selam 6 hari, setiap harinya dilakukan pengadukan, kemudian dicuci dengan air hingga pH air cucian menjadi netral. Kemudian dikeringkan dan dianalisa metode ini lebih ekonomis dibandingkan metode lain karena proses deasetilasi kitin terjadi tanpa menjadi pemnasan pada temperatur 30°C . Pada umumnya metode lain menggunakan vessel khusus dengan kontrol dengan atmosfir selama waktu tertentu, sedangkan pada metode ini hanya menggunakan vessel sederhana. Metode lain untuk mengontrolreaksi pembentukamn produk yang dibutuhkan sejumlah bahan aditif, sedangkan pada metode ini tidak menggunakan komsumsi bahan aditif lainnya.

B. PVA (*Polivinil alcohol*)

Polinvinil alkohol bersifat tidak berbau, tidak berasa,transparan, berbentuk serbuk berwarna putih dan kekuningan. PVA larut dalam air, sedikit larut dalam etanol tetapi tidak larut dalam pelarut dalam organik. PVA memiliki titik leleh $180-190^{\circ}\text{C}$. PVA dihasilkan melalui hidrolisis polivinil asetat dalam etanol dengan kalium hidroksida (KOH).

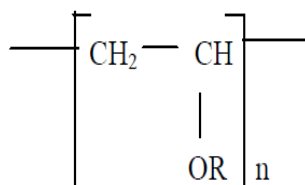
Struktur PVA terdiri dari gabungan monomer $C_2H_4O_5$. Sifat fisik PVA seperti kekuatan, kelarutan dalam air, permeabilitas gas dan sifat termalnya bergantung pada berat molekul polimer. Semakin besar berat molekul PVA, maka visikositas, elastisitas, ketahanan terhadap air, pelarut dan kekuatan melekat akan semakin meningkat. PVA banyak digunakan sebagai membran anorganik (Charles W, 2010). Gambar PVA bias dilihat di pada gambar 3 di bawah ini



Gambar. 3 Polivinilalkohol (PVA)

Polivinil alkohol merupakan suatu material yang dibuat melalui proses alkoholisis dari polivinil asetat (PVAc). Polivinil alkohol memiliki sifat tidak berwarna, padatan termoplastik yang tidak larut pada sebagian besar pelarut organik dan minyak, tetapi larut dalam air bila jumlah dari gugus hidroksil dari polimer tersebut cukup tinggi (Harper & Petrie 2003).

Polivinil alkohol memiliki permeabilitas uap air terendah dari semua polimer komersial tetapi sensitivitas airnya telah membatasi penggunaannya (Beswick & Dunn 2002). Wujud dari polivinil alkohol berupa serbuk (*powder*) berwarna putih dan memiliki densitas 1,2000-1,3020 g/cm³ serta dapat larut dalam air pada suhu 80°C (Sheftel 2000). Secara komersial, polivinil alkohol adalah plastik yang paling penting dalam pembuatan film yang dapat larut dalam air. Hal ini ditandai dengan kemampuannya dalam pembentukan film, pengemulsi, dan sifat adesifnya. polivinil alkohol memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas yang baik, dan sifat penghalang oksigen yang baik (Ogur 2005). Struktur polivinilalkohol dan karakteristik flim polivinilalkohol bisa dilihat pada gambar 4 dan tabel 3 di bawah ini



Gambar. 4 Struktur kimia polivinil alkohol (Sheftel, 2000)

Tabel. 3 Karakteristik film Polivinil alkohol (PVA)

N O	Karakteristik	PVA
1	Kecerahan (%)	60-66
2	Kuat Sobek (N.mm-1)	147-834
3	Kuat Tarik (MN.m-2)	44-64
4	Perpanjangan (%)	150-400
5	Densitas (g/cm ³)	1,19-1,31
6	Titik Leleh (oC)	180-240
7	Titik Dekompos (oC)	228

Sumber: (Hodgkinson, 2000).

C. Zeolit

Zeolit (*Zeinlithos*) atau berarti juga batuan mendidih, di dalam riset-riset kimiawan telah lama menjadi pusat perhatian. Setiap tahunnya, berbagai jurnal penelitian di seluruh dunia, selalu memuat pemanfaatan zeolit untuk berbagai aplikasi, terutama yang diarahkan pada aspek peningkatan efektivitas dan efisiensi proses industry. Struktur zeolit sejauh ini diketahui bermacam-macam, tetapi secara garis besar strukturnya terbentuk dari unit bangun primer, berupa tetrahedral yang kemudian menjadi unit bangun sekunder polihedral dan membentuk polihendra dan akhirnya unit struktur zeolit (Putra. 2007). Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, sehingga dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serbaguna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion.

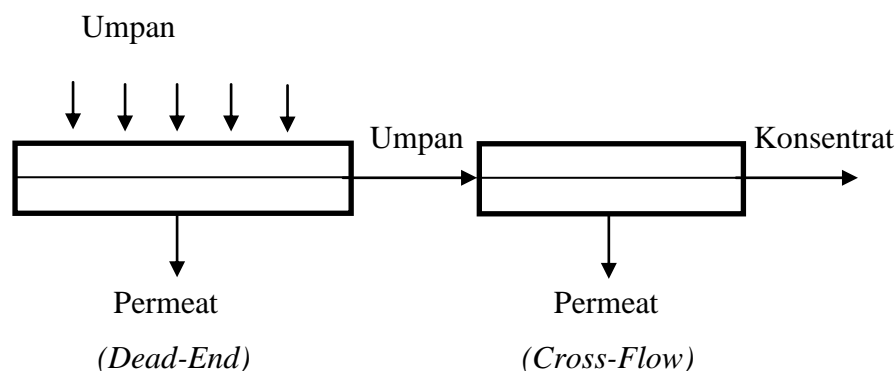


Gambar. 5 Zeolit

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H_2O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H_2O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi (Putra, 2007).

2.6 *Type* aliran Umpan

Pada dasarnya ada dua *type* konfigurasi aliran pada proses pemisahan menggunakan membran yaitu *type* aliran melintas (*Dead-End*) dan aliran silang (*Cross-Flow*). Perbedaan kedua *Type* proses pemisahannya dapat dilihat pada gambar berikut (Mulder, 1996).



Gambar. 6 *Type* proses pemisahan

Pada filtrasi aliran melintas, umpan dialirkan tegak lurus ke permukaan membran sehingga partikel terakumulasi dan membentuk suatu lapisan pada permukaan membran, hal ini berdampak terhadap penurunan *fluks* dan *rejeksi*. Pada *type* aliran silang (*Cross-Flow*), umpan mengalir sepanjang permukaan membran sehingga hanya sebagian yang terakumulasi.

2.7 Karakteristik Membran

Untuk memahami proses pemisahan dengan membran, akan ditentukan karakteristik membran yang dalam hubungannya dengan sifat dan struktur membran seperti kandungan air, ukuran pori, jumlah pori, luas membran, dan ketebalan membran.

2.7.1 Kandungan air

Kandungan air merupakan tingkat kemampuan polimer untuk menyerap air. Sifat ini ditunjukkan oleh adanya gugus yang bersifat hidrofilik dalam rantai polimer. Polimer yang banyak mengandung gugus hidroksil akan bersifat hidrofilik. Kandungan air ini akan mempengaruhi difusivitas penetran melalui membran karena semakin banyak yang erikat dengan membran, akan menyebabkan rantai polimer bebas bergerak, sehingga molekul semakin mudah menembus membran polimer melewati ruang kosong antara rantai polimer dengan rantai lainnya.

2.7.2 Ukuran dan Jumlah pori

Pada proses pemisahan menggunakan membran ukuran dan jumlah pori merupakan faktor yang harus dipertimbangkan agar memenuhi standar ultrafiltrasi. Ukuran pori akan menentukan sifat selektifitas membran, yaitu kemampuan dari membran untuk menahan molekul-molekul zat terlarut, sehingga tidak ada yang lolos menembus pori membran. Sedangkan jumlah pori menentukan sifat permeabilitas membran yaitu kemudahan membran untuk melewatkan molekul-molekul air, dimana jika permeabilitas membran yang dihasilkan tinggi, maka membran layak digunakan.

2.7.3 Ketebalan Membran

Ketebalan membran merupakan salah satu karakterisasi membran yang diukur untuk mengetahui laju permeasi membran. Ketebalan membran polysulfon diukur dengan menggunakan mikrometer. Ukuran ketebalan membran menurut standar ultrafiltrasi adalah 50-150 μm .

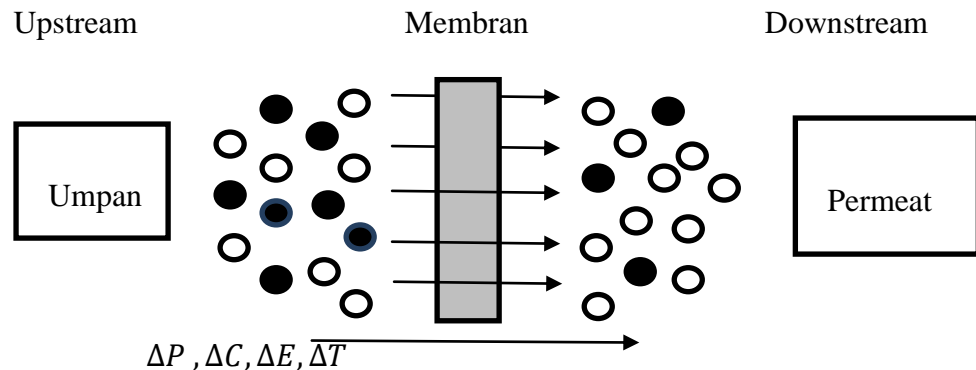
2.7.4 Luas Membran

Luas membran yang telah dibuat disesuaikan dengan luas modul membran dari rancangan alat, dimana pengukuran panjang dan lebar membran ini dilakukan secara manual dengan menggunakan mistar.

2.8 Prinsip Proses Pemisahan dengan Membran

Proses Pemisahan dengan menggunakan media membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektifitas yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya (Kesting, 2000). Hal ini dikarenakan partikel memiliki ukuran lebih besar dari pori membran. Untuk lebih jelasnya

mengenai proses pemisahan dengan menggunakan membran dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar. 7 Proses Pemisahan dengan Membran (Wenten, 1999)

Upstream merupakan sisi umpan terdiri dari bermacam-macam molekul (komponen) yang akan dipisahkan, sedangkan downstream adalah sisi permeat yang merupakan hasil pemisahan. Pemisahan terjadi karena adanya gaya dorong (driving force) sehingga molekul-molekul berdifusi melalui membran yang disebabkan adanya perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan energi (ΔE), perbedaan temperature (ΔT).

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses pemisahan dengan membran meliputi :

- a. Interaksi membran dengan larutan
- b. Tekanan
- c. Temperature
- d. Konsentrasi polarisasi

Dalam penggunaannya, pemilihan membran didasarkan kepada sifat-sifat sebagai berikut

- a. Stabil terhadap perubahan temperatur
- b. Mempunyai daya tahan terhadap bahan-bahan kimia
- c. Kemudahan untuk mendeteksi kebocoran
- d. Kemudahan proses penggantian
- e. Efisiensi pemisahan

2.9 Kinerja Membran

Operasi membran dapat diartikan sebagai proses pemisahan dua atau lebih komponen dari aliran fluida melalui suatu membran. Membran berfungsi sebagai

penghalang tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain darisuatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder,1996). Berdasarkan gradient tekanan sebagai gayadorongnya dan permeabilitasnya,membran dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu (Mulder,1996):

- a. Mikrofiltrasi (MF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan berkisar 0,1-2 Bar dan batasan permeabilitasnya lebih besar dari 50 L/m².jam.bar
- b. Ultrafiltrasi (UF), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 1-5Bar dan batasan permeabilitasnya adalah 10-50L/m².jam.bar
- c. Nanofiltrasi, Membran ini beroperasi pada tekanan antara 5-20 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 1,4 – 12 L/m².jam.bar
- d. Reverse Osmosis (RO), Membran jenis ini beroperasi pada tekanan antara 10-100 Bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 0,05-1,4 L/m².jam.bar.

Ada dua parameter utama yang menentukan kinerja membran, yaitu laju aliran (fluks) dan selektivitas. Secara umum,fluks akan menentukan berapa banyak permeat yang dapat dihasilkan (kuantitas), sedangkan selektivitas berkaitan dengan kualitas permeat.

2.9.1 Laju Aliran (Fluks)

Fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satu –satu permukaan luas membrane dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Fluks ditentukan oleh jumlah pori. Secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996).

$$\text{Dimana: } J = \text{fluks (L/m}^2\text{.jam)} \qquad J = \frac{V}{A.t}$$

V = Volume permeat (Liter)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

2.9.2 Selektivitas (Rejeksi)

Selektivitas (rejeksi) suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan

membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien Rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996). Rejeksi ditentukan oleh ukuran pori :

Dimana :

$$R = \text{Koefisien rejeksi(\%)} \qquad R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

C_p = Konsentrasizat terlarutdalampermeat

C_f = Konsentrasizat terlarutdalamumpan

Dengan harga R berkisa antara 0 sampai 1. Jika harga R = 1 berarti zat kontaminan ditahan oleh membrane secara sempurna. Harga rejeksi bergantung berat molekul zat terlarut yang digunakan, bila R = 100 %, berarti membrane tersebut menolak sempurna zat terlarut atau menahan sempurna zat terlarut, sehingga hamper tidak ada zat terlarut yang berhasil menembus pori membrane.

2.10 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 jenis *fouling* yang sering terjadi pada membran adalah *fouling* akibat partikel, biofouling, dan *scaling*. 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 disinfektan untuk mencegah bakteri yang dapat menyerang membran. Sedangkan cara untuk menyingkirkan *fouling* adalah dengan *flushing* atau *chemical cleaning*.

2.11 Analisa Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)

a. Kadar pH dalam limbah kelapa sawit

Menurut (Ambarlina, Ika 2012), pada pH limbah kelapa sawit bersifat asam berkisar 4,5 dan apabila tidak diolah lebih lanjut akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Menurut (Ahmad, 2004), limbah cair pabrik kelapa sawit bersifat asam dengan pH 3,5-5. Menurut (Ardianto, Ahmad dkk 2011) pH limbah cair kelapa sawit pada PTPN V Sei. Pagar sebesar 5,6. Kadar pH limbah cair kelapa sawit dapat dilihat bersifat asam berkisar 3,5-5,6n sedangkan baku mutu limbah cair kelapa sawit untuk industri minyak kelapa sawit yang bersumber dari keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Maksimum limbah cair kelapa sawit berkisar 6,0-9,0. Sehingga limbah cair kelapa sawit dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

b. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia dalam jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bagunan yang ada lama air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. (Wisnu dak Ika, 2012).

Menurut (Ambarlina, Ika 2012), jumlah COD limbah cair kelapa sawit yang belum diolah sebesar 1910,4 mg/l/.

Menurut (Kasnawati 2011), dari hasil penelitian awal pada limbah cair kelapa sawit diperoleh nilai COD 13344mg/l.

Menurut Rahardejo 2009, dari hasil penelitian kandungan COD pada limbah cair kelapa sawit yang dijadikan land application sebagai pupuk cair yaitu 3.500-5.745 mg/l. Kadar COD limbah cair kelapa sawit dapat dilahit mempunyai nilai yang berbeda beda tergantung dari bersumber dari minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair kelapa sawit bersumber dari keputusan mentrin Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Maksimum COD limbah cair kelapa sawit berkisar 350 mg/l. Sehingga limbah cair harus dilakukan pengolahan agar mengakibatkan pencemaran lingkungan.

c. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hamper semua zat organic yang terlarut dalam sebagian zat-zat organic yang tersuspensi dalam air. (Rumidatul, Alfi 2006).

Menurut Kasnawati 2011, dari hasil penelitian awal pada limbah cair pabrik kelapa sawit diperoleh nilai BOD 5540mg/l. Kadar BOD limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda beda tergantung dari bersumber dari minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair kelapa sawit bersumber dari keputusan mentrin Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Maksimum BOD limbah cair kelapa sawit berkisar 350 mg/l. Sehingga limbah cair harus dilakukan pengolahan agar mengakibatkan pencemaran lingkungan.

d. *Total Dissolved Solid (TDS)*

Padatan terlarut adalah padatan padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pada padatan tersuspensi. Padatan ini terdiri senyawa -senyawa anorganik dan organik yang larut air, mineral dan garam-garamnya. Sebagai contoh, air buangan pabrik gula biasanya mengandung berbagai jenis

gula yang larut, sedangkan air buangan industri. kimia sering mengandung mineral - mineral seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenic (As), cadmium (Cd), Khromium (Cr), Nikel (Ni), Cl₂, serta garam -garam kalsium dan magnesium yang mempengaruhi kesadahan air. Selain itu air buangan juga sering mengandung sabun, deterjen dan surfaktan yang larut air, misalnya pada air buangan rumah tangga dan industri pencucian (Fardiaz, 1992).

Total padatan terlarut (Total Dissolved Solid) adalah bahan -bahan terlarut (diameter < 10⁻⁶ mm) dan koloid (diameter < 10⁻⁶ mm -< 10⁻³ mm) yang berupa senyawa kimia dan bahan -bahan lain yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 µm (Vanho, 2010).

Menurut (Kasnawati, 2011) hasil penelitian awal pada limbah cair kelapa sawit diperoleh nilai TSS 10418 mg/l. Kadar TDS limbah cair kelapa sawit dilihat mempunyai nilai berbeda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun berdasarkan baku mutu limbah cair kelapa sawit minyak bersumber dari keputusan kementerian Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995 dan Peraturan Gubernur Sumatra Selatan Nomor 8 Tahun 2012 Maksimum TDS limbah cair kelapa sawit berkisar 250 mg/l. Sehingga limbah sawit cair dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

e. **Scanning Electron Microscope (SEM)**

Mikroskop elektron adalah sebuah mikroskop yang dapat melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali. Mikroskop ini menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya (Anonymous, 2012).

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of*

field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011).

Anonymous (2012) menambahkan, SEM memfokuskan sinar elektron (electron beam) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek.

Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas electron yang dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkar electron akan memantulkan kembali berkas electron atau dinamakan berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas electron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas electron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang ber intensitas tertinggi di – scan keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan zoon – in atau zoon – out. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam Komputer.

SEM (Scanning Electron Microscope) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada miskroskop optic. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang Broglie yang memiliki electron lebih pendek dari pada gelombang optik. Karena makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop.