

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Air Gambut

Air gambut adalah air permukaan yang banyak dijumpai di daerah lahan gambut atau dataran rendah terutama di pulau Kalimantan dan Sumatera. Menurut Wibowo dan Suyatno (1998) air gambut berwarna coklat tua sampai kehitaman ($124 - 850 \text{ PtCo}$), memiliki kadar organik yang tinggi ($138 - 1560 \text{ mg/l } \text{KmnO}_4$), dan bersifat asam ($\text{pH } 3,7 - 5,3$). Air gambut masih memerlukan pengolahan khusus terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai sumber air untuk keperluan domestik. Salah satu alternatif pengolahan untuk menurunkan warna dalam air adalah *anaerobik biofilter* dan *Slow Sand Filter (SSF)*.

Air gambut berdasarkan parameter baku mutu air tidak memenuhi persyaratan kualitas air bersih. Air gambut mengandung senyawa zat organik terlarut yang menyebabkan air menjadi warna coklat dan bersifat asam, sehingga perlu pengolahan khusus sebelum siap untuk dikonsumsi. Senyawa organik tersebut adalah asam humus yang terdiri dari asam humat, asam fulvat dan humin (Nainggolan, 2011).

Air gambut tidak memenuhi persyaratan air bersih karena memiliki :

1. intensitas warna yang tinggi (berwarna merah kecoklatan)
2. Tingkat keasaman tinggi, sehingga kurang enak diminum
3. Zat organik tinggi sehingga menimbulkan bau
4. Kandungan dan kekeruhan partikel tersuspensi yang rendah
5. Kandungan kation yang rendah

Di daerah jembatan lima banyuasin, merupakan daerah yang berlahan gambut, dimana di daerah tersebut mengalami kesulitan dalam pengadaan air bersih. air gambut yang terdapat di daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Air Gambut

Warna merah kecoklatan pada air gambut merupakan akibat dari tingginya kandungan zat organik (bahan humus) terlarut terutama dalam bentuk asam humus dan turunannya. Asam humus tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi. Namun secara umum telah mencapai dekomposisi yang stabil (Syarfi, 2007). Dalam berbagai kasus, warna akan semakin tinggi karena disebabkan oleh adanya logam besi yang terikat oleh asam-asam organik yang terlarut dalam air tersebut. Struktur gambut yang lembut dan mempunyai pori-pori menyebabkan mudah untuk menahan air, air pada lahan gambut dikenal dengan air gambut. Berdasarkan sumber airnya, lahan gambut dibedakan menjadi dua yaitu (Trckova, M., 2005):

1. Bog

Merupakan jenis lahan gambut yang sumber airnya berasal dari air hujan dan air permukaan. Karena air hujan mempunyai pH yang agak asam maka setelah bercampur dengan gambut akan bersifat asam dan berwarna coklat karena terdapat kandungan organik.

2. Fen

Merupakan lahan gambut yang sumber airnya berasal dari air tanah yang biasanya dikontaminasi oleh mineral sehingga pH air gambut tersebut memiliki pH netral dan basa.

2.1.1. Karakteristik Air Gambut

Air gambut tergolong air yang tidak memenuhi persyaratan air bersih yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010, beberapa karakteristik yang tidak memenuhi persyaratan adalah sebagai berikut :

1. Segi estetika yaitu dengan adanya warna, kekeruhan dan bau pada air gambut akan mengurangi efektifitas usaha desinfeksi, karena mikroba terlindung oleh zat padat tersuspensi, baik yang bersifat anorganik maupun yang organik. Hal ini tentu berbahaya bagi kesehatan bila terdapat mikroba yang pathogen. Disamping itu penyimpanan terhadap standar yang diterapkan akan mengurangi penerimaan masyarakat terhadap air tersebut yang selanjutnya dapat mendorong untuk mencari sumber air lain yang kemungkinan tidak aman. (Sutrisno, 1991).
2. pH rendah pada air gambut menyebabkan air terasa asam yang dapat menimbulkan kerusakan gigi dan sakit perut (Notodarmojo , 1994).
3. Kandungan zat organik yang tinggi dapat menjadi sumber makanan bagi mikroorganisme dalam air yang dapat menimbulkan bau apabila zat organik tersebut terurai secara biologis dan jika dilakukan desinfeksi dengan larutan khlor akan membentuk senyawa *organokhlorine* yang bersifat karsinogenik (Notodarmojo , 1994).
4. Tingginya kadar besi (Fe) pada air merupakan suatu hal yang harus diperhatikan dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat. Mengingat bahwa tingginya kadar Fe akan mengurangi segi estetika dan akan mengurangi efektifitas usaha desinfeksi karena mikroba terlindung oleh zat tersuspensi tersebut. Tingginya kadar besi pada air menyebabkan air berwarna merah kecoklatan dan berbau logam sehingga menimbulkan keengganan untuk mengkonsumsinya . (Sutrisno, 2006).
5. Endapan mangan (Mn) akan memberikan noda-noda pada bahan/benda-benda yang berwarna putih. Adanya unsur ini dapat menimbulkan bau dan rasa pada minuman. (Sutrisno, 2006).

Berdasarkan kelarutannya dalam alkali dan asam, asam humus dibagi dalam tiga fraksi utama yaitu (Pansu, 2006):

1. Asam humat

Asam humat atau humus dapat didefinisikan sebagai hasil akhir dekomposisi bahan organik oleh organisme secara aerobik. Ciri-ciri dari asam humus ini antara lain:

- a. Asam ini mempunyai berat molekul 10.000 hingga 100.000 g/mol (Collet, 2007). Merupakan makromolekul aromatik kompleks dengan asam amino, gula amino, peptide, serta komponen alifatik yang posisinya berada antara kelompok aromatik.
- b. Merupakan bagian dari humus yang bersifat tidak larut dalam air pada kondisi $\text{pH} < 2$ tetapi larut pada pH yang lebih tinggi.
- c. Bisa diekstraksi dari tanah dengan bermacam reagen dan tidak larut dalam larutan asam. Asam humat adalah bagian yang paling mudah diekstraksi diantara komponen humus lainnya.
- d. Mempunyai warna yang bervariasi mulai dari coklat pekat sampai abu-abu pekat.
- e. Humus merupakan tanah gambut mengandung lebih banyak asam humat (Stevenson, 1982). Asam humus merupakan senyawa organik yang sangat kompleks, yang secara umum memiliki ikatan aromatik yang panjang dan nonbiodegradable yang merupakan hasil oksidasi dari senyawa lignin (gugus fenolik).

2. Asam fulvat

Asam fulvat merupakan senyawa asam organik alami yang berasal dari humus, larut dalam air, sering ditemukan dalam air permukaan dengan berat molekul yang rendah yaitu antara rentang 1000 hingga 10.000 (Collet, 2007). Bersifat larut dalam air pada semua kondisi pH dan akan berada dalam larutan setelah proses penyisihan asam humat melalui proses asidifikasi. Warnanya bervariasi mulai dari kuning sampai kuning kecoklatan.

3. Humin

Kompleks humin dianggap sebagai molekul paling besar dari senyawa humus karena rentang berat molekulnya mencapai 100.000 sampai 10.000.000. sedangkan sifat kimia dan fisika humin belum banyak diketahui.

2.1.2. Pengolahan Air Gambut

Menurut Kusnaedi (2006), ada 2 tahap proses pengolahan air gambut yaitu terdiri dari :

1. Tahap Koagulasi, Flokulasi, absorpsi, dan sedimentasi. Menurut kusnaedi (2006), koagulasi adalah proses pembubuhan bahan kimia ke dalam air agar kotoran dalam air yang berupa padatan tersuspensi misalnya zat warna organik, lumpur halus, bakteri dan lain-lain dapat menggumpal dan cepat mengendap. Tahap ini berlangsung pada ember pertama dengan cara mencampurkan zat koagulasi yang dilengkapi dengan pengaduk. Bahan koagulan yang dapat digunakan antara lain : kapur, tawas, tanah liat (lempung) setempat, dan tepung biji kelor.
2. Tahap Penyaringan (Filtrasi) Filtrasi adalah proses penyaringan untuk menghilangkan zat padat tersuspensi (yang diukur dengan kekeruhan) dari air melalui media berpori-pori. Pada proses penyaringan ini zat padat tersuspensi dihilangkan pada waktu air melalui lapisan materi berbentuk butiran yang disebut media filter.

2.2. Air bersih

Air merupakan bagian dari ekosistem secara keseluruhan. Keberadaan air di suatu tempat yang berbeda membuat air bisa berlebih dan bisa berkurang sehingga dapat menimbulkan berbagai persoalan. Untuk itu, air harus dikelola dengan bijak dengan pendekatan terpadu secara menyeluruh. Terpadu berarti keterkaitan dengan berbagai aspek. Untuk sumber daya air yang terpadu membutuhkan keterlibatan dari berbagai pihak (Kodoatie, 2008).

Air bersih adalah air sehat yang dipergunakan untuk kegiatan manusia dan harus bebas dari kuman-kuman penyebab penyakit, bebas dari bahan-bahan kimia

yang dapat mencemari air bersih tersebut. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Kemenkes/sk/XI/2002 tentang persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri terdapat pengertian mengenai air bersih yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak.

Departemen Kesehatan Republik Indonesia tahun 1991 mendefinisikan air bersih sebagai berikut :

- a. Dipandang dari sudut ilmiah, air bersih adalah air yang telah bebas dari mineral, bahan kimia jasad renik.
- b. Dipandang dari sudut program, air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan dapat di minum setelah masak.

Air yang digunakan sebagai kebutuhan air bersih sehari-hari, sebaiknya air tersebut tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, jernih, dan mempunyai suhu yang sesuai dengan standard yang ditetapkan sehingga menimbulkan rasa nyaman. Menurut Azwar (1990) dan Putra (2010) jika salah satu dari syarat tersebut tidak terpenuhi maka besar kemungkinan air itu tidak sehat karena mengandung beberapa zat kima, mineral, ataupun zat organis/biologis yang dapat mengubah warna, rasa, bau dan kejernihan air (Azwar, 1990 dalam Putra).

Dalam pemenuhan kebutuhan air bersih manusia biasanya memanfaatkan sumber-sumber air yang berada disekitar permukiman baik itu air alam, maupun setelah mengalami proses pengolahan terlebih dahulu. Menurut Sugiharto (1983) tempat sumber air dibedakan menjadi tiga yaitu :

1. Air hujan, air angkasa dan dalam wujud lainnya dapat berupa salju,
2. Air permukaan, air yang berada di permukaan bumi dapat berupa air sungai, air danau, air laut,

Air tanah, terbentuk dari sebagian air hujan yang jatuh ke permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah melalui pori-pori atau celah-celah dan akar tanaman serta bertahan pada lapisan tanah membentuk lapisan yang mengandung air tanah (aquifer), air tanah yang disebut air tanah dalam atau artesis, artinya air

tanah yang letaknya pada dua lapisan tanah yang kedap air, ada yang sifatnya tertekan dan yang tidak tertekan. Air tanah dangkal artinya terletak pada akuifer yang dekat dengan permukaan tanah dan fluktuasi volumenya sangat dipengaruhi oleh adanya curah hujan.

2.3. Karakteristik Air

2.3.1. Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Fisik

Karakteristik air berdasarkan parameter fisik terdiri dari :

1. Suhu

Suhu air maksimum yang diizinkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia No. 416/Kemenkes/Per/IX/1990 adalah 30°C. Penyimpangan terhadap ketentuan ini akan mengakibatkan :

- a. Meningkatnya daya/tingkat toksisitas bahan kimia atau bahan pencemaran dalam air
- b. Pertumbuhan mikroba dalam air

2. Warna

Banyak air permukaan khususnya yang berasal dari daerah rawa-rawa seringkali berwarna sehingga tidak dapat diterima oleh masyarakat baik untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri, tanpa dilakukannya pengolahan untuk menghilangkan warna tersebut. Bahan-bahan yang menimbulkan warna tersebut dihasilkan dari kontak antara air dengan reruntuhan organis yang mengalami dekomposisi.

3. Bau

Air yang memenuhi standar kualitas harus bebas dari bau. Biasanya bau disebabkan oleh bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta senyawa kimia lainnya fenol. Air yang berbau akan dapat mengganggu estetika.

4. Rasa

Biasanya rasa dan bau terjadi bersama-sama, yaitu akibat adanya dekomposisi bahan organik dalam air. Seperti bau, air yang memiliki rasa juga dapat mengganggu estetika.

2.3.2. Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Kimia

a. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan salah satu faktor yang sangat penting mengingat pH dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba didalam air. Sebagian besar mikroba didalam air akan tumbuh dengan baik pada pH 6,0-8,0, pH juga akan menyebabkan perubahan kimiawi di dalam air. Menurut standar kualitas air, pH yang baik yaitu berkisar 6,5-9,2. Apabila pH kecil dari 6,5 atau lebih besar dari 9,2, maka akan menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa air yang dibuat dari logam dan dapat mengakibatkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

b. Total Solid

Tingginya angka total solid merupakan bahan pertimbangan dalam menentukan sesuai atau tidaknya air untuk penggunaan rumah tangga. Air yang baik digunakan untuk keperluan rumah tangga dengan angka total solid di dalam air minum adalah 500-1500 mg/l. Apabila melebihi dari standar yang telah ditentukan maka berakibat :

1. Air tidak enak rasanya
2. Rasa mual
3. Terjadinya cardiac diseases serta toxaemia pada wanita-wanita hamil.

c. Jumlah Kesadahan

Kesadahan adalah sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion (kation) logam valensi dua. Ion-ion ini mampu bereaksi dengan sabun membentuk kerak air. Kation-kation penyebab utama dari kesadahan Ca^{++} , Mg^{++} , Sr^{++} , Fe^{++} dan Mn^{++} . Kesadahan total adalah kesadahan yang disebabkan oleh Ca^{++} dan Mg^{++} secara bersama-sama. Standar kualitas menetapkan kesadahan total adalah 5-10 derajat jerman. Apabila kesadahan kurang dari 5 derajat jerman maka air akan menjadi lunak. Jika lebih dari 10 derajat jerman maka akan mengakibatkan :

- Kurangnya efektivitas sabun
- Menyebabkan lapisan kerak pada alat dapur
- Sayur-sayuran menjadi keras apabila dicuci dengan air ini

d. Zat Organik

Adanya zat organik di dalam air disebabkan karena air buangan dari rumah tangga, industri, kegiatan pertanian dan pertambangan. Zat organik didalam air dapat ditentukan dengan mengukur angka permangaatannya (KmnO_4). Di dalam standar kualitas, ditentukan maksimal angka permangatnya 10 mg/l. Penyimpangan standar kualitas tersebut akan mengakibatkan :

- Timbulnya bau tak sedap
- Menyebabkan sakit perut

e. Kimia Organik

Kimia organik terdiri atas :

1. Calcium (Ca)

Adanya Ca dalam air sangat dibutuhkan dalam jumlah tertentu, yaitu untuk pertumbuhan tulang dan gigi. Sedangkan bila telah melewati ambang batas, kalsium dapat menyebabkan kesadahan, kesadahan dapat berpengaruh secara ekonomis maupun terhadap kesehatan yaitu efek korosif dan menurunnya efektifitas dari kerja sabun. Standar yang ditetapkan DEPKES sebesar 75-200 mg/L. Sedangkan WHO interregional water study group adalah sebesar 75-150 mg/L.

2. Tembaga (Cu)

Ukuran batas ada atau tidaknya tembaga adalah 0,05-1,5 mg/L. Dalam jumlah kecil Cu sangat diperlukan untuk pembentukan sel darah merah, sedangkan dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan rasa yang tidak enak di lidah, disamping dapat menyebabkan kerusakan pada hati.

3. Sulfida (S_2 atau H_2S)

H_2S sangat beracun dan berbau busuk, oleh karena itu zat ini tidak boleh terdapat dalam air minum. Dalam jumlah besar dapat menimbulkan atau memperbesar keasaman air sehingga menyebabkan korosif pada pipa-pipa logam.

4. Magnesium (Mg)

Efek yang ditimbulkan oleh Mg sama dengan kalsium yaitu menyebabkan terjadinya kesadahan. Dalam jumlah kecil Mg dibutuhkan oleh tubuh untuk

pertumbuhan tulang, sedang dalam jumlah yang lebih besar dari 150 mg/L dapat menyebabkan rasa mual.

5. Besi (Fe)

Besi adalah metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Di alam didapat sebagai hematit. Di dalam air minum Fe menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Besi dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan hemoglobin.

Di dalam standar kualitas ditetapkan kandungan besi didalam air sebanyak 0,1-1,0 mg/L. Jika dalam jumlah besar Fe dapat menyebabkan :

- Merusak dinding usus
- Rasa tidak enak dalam air, pada konsentrasi lebih dari 2 mg/L
- Menimbulkan bau dan warna dalam air.

6. Mangan (Mn)

Tubuh manusia membutuhkan mangan rata-rata 10 mg/L sehari yang dapat dipenuhi dari makanan. Tetapi mangan bersifat toksis terhadap alat pernafasan. Standar kualitas menetapkan kandungan mangan didalam air 0,05-0,5 mg/L.

7. Seng (Zn)

Satuan yang dipergunakan adalah mg/L dengan batas antara 1,0 sampai 15 mg/L. Zn dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak. Akan tetapi apabila jumlahnya besar dapat menimbulkan rasa pahit dan sepat pada air minum.

2.3.3. Karakteristik Air Berdasarkan Parameter Mikrobiologis

Bakteri yang paling banyak digunakan sebagai indikator sanitasi adalah *E.coli*, karena bakteri ini adalah bakteri komersial pada usus manusia, umumnya bukan patogen penyebab penyakit sehingga pengujiannya tidak membahayakan dan relatif tahan hidup di air sehingga dapat di analisis keberadaannya di dalam air yang notabene bukan merupakan medium yang ideal untuk pertumbuhan bakteri. Keberadaan *E.coli* dalam air atau makanan juga dianggap memiliki korelasi tinggi dengan ditemukannya patogen pada pangan.

E.coli adalah bakteri Gram negatif berbentuk batang yang tidak membentuk spora yang merupakan flora normal di usus. Meskipun demikian, beberapa jenis

E.coli dapat bersifat patogen, yaitu serotipe-serotipe yang masuk dalam golongan *E.coli* Enteropatogenik, *E.coli* Enteroinvasif, *E.coli* Enterotoksigenik dan *E.coli* Enterohemoragik. Jadi adanya *E.coli* dalam air minum menunjukkan bahwa air minum tersebut pernah terkontaminasi kotoran manusia dan mungkin dapat mengandung patogen usus. Oleh karenanya standar air minum mensyaratkan *E.coli* harus absen dalam 100 ml.

Karena uji *E.coli* yang kompleks, maka beberapa standar, misalnya Standar Nasional Indonesia (SNI), mensyaratkan tidak adanya coliform dalam 100 ml air minum. Coliform adalah kelompok bakteri Gram negatif berbentuk batang yang pada umumnya menghasilkan gas jika ditumbuhkan dalam medium laktosa. Salah satu anggota kelompok coliform adalah *E.coli* dan karena *E.coli* adalah bakteri coliform yang ada pada kotoran manusia maka *E.coli* sering disebut sebagai coliform fekal. Pengujian Coliform jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan uji *E.coli*, karena hanya memerlukan uji penduga yang merupakan tahap pertama uji *E.coli* 4 tahap. Jika terdapat coliform dalam air minum atau makann maka ada kemungkinan air atau makanan itu mengandung *E.coli*, tetapi mungkin juga tidak mengandung *E.coli* karena bakteri-bakteri bukan patogen dan bukan asal usus dari genus *Enterobacter* dan beberapa *Klebsiella* juga menghasilkan uji koliform positif. Jika ingin diketahui apakah coliform tersebut merupakan coliform fekal atau *E.coli* maka uji tersebut dapat dilanjutkan dengan uji 4 tahap. Akan tetapi jika uji penduga tidak menunjukkan adanya coliform, maka tidak perlu dilakukan uji 4 tahap.

2.4. Proses Pengolahan Air

2.4.1. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan antara padatan atau koloid dengan suatu cairan. Untuk penyaringan air olahan yang mengandung padatan dengan ukuran seragam dapat digunakan saringan medium tunggal, sedangkan untuk penyaringan air yang mengandung padatan dengan ukuran yang berbeda dapat digunakan tipe saringan multi medium.

Media filter atau saringan digunakan karena merupakan alat filtrasi atau penyaring yang memisahkan campuran solida liquida dengan media porous atau material porous lainnya guna memisahkan sebanyak mungkin padatan tersuspensi yang paling halus, dan penyaringan ini merupakan proses pemisahan antara padatan atau koloid dengan cairan, dimana prosesnya bisa dijadikan sebagai proses awal, dikarenakan juga karena air olahan yang akan disaring berupa cairan yang mengandung butiran halus atau bahan-bahan yang larut dan menghasilkan endapan, maka bahan-bahan tersebut dapat dipisahkan dari cairan melalui filtrasi. Apabila air olahan mempunyai padatan yang ukuran seragam maka saringan yang digunakan adalah *single medium*. Jika ukuran beragam maka digunakan saringan *dual medium* atau *three medium* (Kusnaedi, 1995).

Pada pengolahan air baku dimana proses koagulasi tidak perlu dilakukan, maka air baku langsung dapat disaring dengan saringan jenis apa saja termasuk pasir kasar. Karena saringan kasar mampu menahan material tersuspensi dengan penetrasi partikel yang cukup dalam, maka saringan kasar mampu menyimpan lumpur dengan kapasitas tinggi. Karakteristik filtrasi dinyatakan dalam kecepatan hasil filtrat. Masing-masing dipilih berdasarkan pertimbangan teknik dan ekonomi dengan sasaran utamanya, yakni menghasilkan filtrat yang murah dengan kualitas yang tetap tinggi.

2.4.2. Membran

Membran sudah sangat familiar digunakan untuk pengolahan air bersih, air minum dan air buangan. Di Negara maju, seperti Amerika, Jepang, Singapura, Jerman dan lain-lain. Menurut Widayanti (2013) membran berasal dari bahasa latin “membrana” yang berarti kulit kertas. Saat ini, kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film.

Membran merupakan sekat yang bersifat selektif permeable yang bisa memisahkan dua fasa. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, membran dapat menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Proses pemisahan membran

berupa perpindahan materi secara selektif karena daya dorong atau penggerak 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 (ΔT), perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), perbedaan energi (ΔE) dan medan listrik (Mulder, 1996).

2.4.2.1. Kelebihan dan Kekurangan Membran

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

- Proses pemisahan dapat dilaksanakan secara berkesinambungan (continous)
- 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 dalam pengoperasiannya, perlu juga diperhatikan hal-hal berikut:

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

2.4.2.2. Kinerja Membran

1. Fluks Membran

Kinerja suatu membran ditentukan oleh permeabilitas dan permselektivitasnya. Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan suatu spesi untuk melewati membran. Sifat ini dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran pori, tekanan yang diberikan, serta ketebalan membran. Permeabilitas dinyatakan sebagai suatu besaran fluks dan dilambangkan dengan J_v , yang didefinisikan sebagai jumlah

volum permeat yang melewati satu satuan luas membran dalam satuan waktu tertentu dengan adanya gaya penggerak berupa tekanan (Heru, 2003). Fluks volume dirumuskan pada persamaan 2.1.

$$Jv = \frac{v}{A.t} \quad (2.1)$$

Dimana :

Jv = fluks volume ($L/m^2.jam$)

V = jumlah volume permeat (L)

A = luas permukaan (m^2)

t = waktu (jam)

Beberapa satuan SI yang dipakai untuk menyatakan fluks antara lain : $L/m^2.jam$ dan $L/m^2.hari$. 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.

2. Selektifitas Membran

Selektifitas membran terhadap campuran secara umum dinyatakan oleh satu dari dua parameter yaitu koefisien rejeksi (R) dan faktor pemisahan (α). 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 2.2.

$$R = (1 - C_p/C_r) \times 100 \% \quad (2.2)$$

Dimana :

R = koefisien rejeksi

C_p = konsentrasi permeat

C_r = konsentrasi retentat

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).

2.4.2.3. Jenis - Jenis Membran

Berdasarkan asalnya membran dibagi menjadi membran alami dan membran sintetik. Membran alami biasanya dibuat dari selulosa dan derivatnya seperti selulosa nitrat dan selulosa asetat. Sedangkan contoh membran sintetik seperti poliamida, polisulfon, dan polikarbonat (Rautenbach, 1989).

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 $0,001\ \mu\text{m}$ 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 perezaporasi, 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 (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 didalam matriks membran atau *carrier* bergerak ketika dilarutkan dalam suatu cairan. Selektivitas 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 ion-ionik.

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

a. Membran non komposit

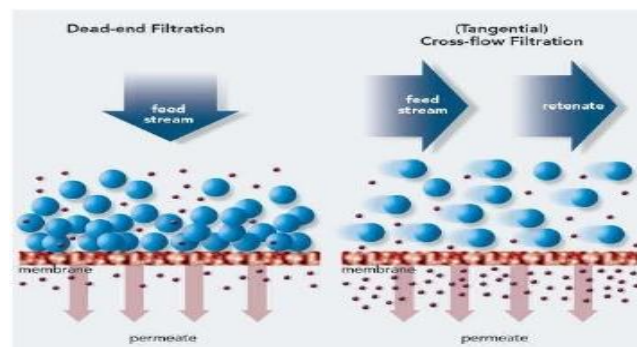
Membran ini mengandung pori dengan ketebalan 10-200 μm . Membran ini memiliki struktur pori yang homogen di seluruh bagian membran. Jenis membran ini kurang efektif karena memungkinkan lebih cepat terjadinya penyumbatan pori dan mengakibatkan *fouling* atau penyumbatan pori pada penggunaannya (Mulder,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

b. 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 tipis dengan ketebalan 0,1-0,5 μm , sedangkan bagian bawah merupakan lapisan pendukung yang memiliki pori berukuran besar dengan ketebalan 1-50 μm . Pembuatan membran ini terdiri dari dua material yang berbeda. Membran ini mengkombinasikan selektifitas yang tinggi dari membran rapat dan laju permeasi yang tinggi dari membran yang sangat tipis. Tingkat pemisahan membran komposit jauh lebih tinggi daripada membran nonkomposit

pada ketebalan yang sama. Hal ini disebabkan karena pada membran simetrik, partikel yang melewati pori akan menyumbat pori-pori membran sehingga penyaringan membran menurun drastis (Mulder, 1996).

Berdasarkan sistem operasinya membran dibedakan atas *system dead-end* dan *crossflow*. Gambaran mengenai *system dead-end* dan *crossflow* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Sumber : Widayanti N ; 2013

gambar 2.2 skema sistem operasi membran

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

a. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi merupakan pemisahan partikel berukuran *micron* atau *submicron*. Bentuknya lazim berupa cartridge, gunanya untuk menghilangkan partikel dari air yang berukuran 0,04 sampai 100 mikron. Asalkan kandungan padatan total terlarut tidak melebihi 100 ppm. *Filtrasi cartridge* merupakan filtrasi mutlak, artinya partikel padat akan tertahan.

Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi :

1. Membran yang digunakan : asimetrik porous membrane
2. Ketebalan : 10-150 μm
3. Ukuran pori : 0,05 – 10 μm
4. Driving force : tekanan (<2 Bar)
5. Prinsip pemisahan : mekanisme Sieving
6. Bahan membrane : polymeric, ceramic

Aplikasi dalam industri :

1. Sterilisasi dingin dari minuman dan bahan – bahan farmasi
2. Penjernihan jus buah, wine, dan beer
3. Pengolahan limbah
4. Fermentasi kontinyu
5. Pemisahan emulsi minyak dan air

b. Osmosis Balik (RO)

Membran RO dibuat dari berbagai bahan seperti *selulosa asetat (CA)*, *poliamida (PA)*, *poliamida aromatic*, *polieteramida*, *polieteramina*, *polieterurea*, *polifetilene oksida*, *polifenilen bibenzimidazol*, dan lainnya. Membran komposit film tipis terbuat dari berbagai bahan polimer untuk substratnya ditambah polimer lapisan fungsional diatasnya. Membran mengalami perubahan karena terjadi Fouling (tersumbat). Makin besar tekanan dan suhu, biasanya membran makin mampat. Normalnya, membran bekerja pada suhu 21- 35⁰C.

Spesifikasi Membran Reverse Osmosis :

1. Membran yang digunakan : asimetrik atau komposit membrane
2. Ketebalan : sublayer : 150 μm , toplayer : 1 μm
3. Temperature : 40⁰C
4. Ukuran pori : < 2 μm
5. Driving force : tekanan, air payau : 15 – 25 bar, air laut : 40 – 80 bar
6. Prinsip pemisahan : solution-diffusion
7. Bahan membrane : selulosa triasetat, aromatic polyamide, polyamide, dan poly(etherurea) (polimerisasi interfisial).

Aplikasi dalam industri :

1. Desalinasi air payau dan air laut
2. Pemekatan jus, gula, dan susu
3. Produksi ultrapure water (industri elektronik)

c. Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi dibuat dengan mencetak polimer selulosa acetate (CA) sebagai lembaran tipis. Membran ultrafiltrasi adalah teknik proses pemisahan menggunakan membran untuk menghilangkan berbagai zat terlarut BM (berat molekul) tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari air larutan. Membran semipermeabel dipakai untuk memisahkan makromolekul dari larutan. Ukuran dan bentuk molekul terlarut merupakan faktor penting.

Fluks maksimum bila membrannya anisotropic, ada kulit tipis rapat dan pengembangan berpori. Membran selulosa acetate (CA) mempunyai sifat pemisahan yang bagus namun sayangnya dapat dirusak oleh bakteri dan zat kimia, rentan pH. Adapula membrane dari polimer polisulfon, akrilik, juga polikarbonat, PVC, poliamida, piliviniliden fluoride, kopolimer AN-VC, poliasetal, poliakrilat, kompleks polielektrolit, PVA ikat silang. Juga dapat dibuat membrane dari keramik, aluminium oksida, zirconium oksida, dan lainnya.

Spesifikasi Membran Ultrafiltrasi :

1. Membran yang digunakan : asimetrik porous membrane
2. Ketebalan : 150 μm
3. Ukuran pori : 1 - 100 μm
4. Driving force : tekanan (1 - 10bar)
5. Prinsip pemisahan : mekanisme Sieving
6. Bahan membrane : polymeric (Misal: polysulfoone, polyacrilonitrile), ceramic (Misal: zirconium oxide, oxide).

Aplikasi dalam Industri :

1. Industri produk susu sapi (susu, keju, whyen)
2. Industri makanan (potato starch, protein)
3. Metalurgi (emulsi air dan minyak, electropaint recovery)
4. Tekstil (zat warna indigo)
5. Industri farmasi (enzim, antibiotic, pyrogen)
6. Pengolahan limbah

d. Nanofiltrasi

Proses nanofiltrasi merejeksi kesadahan, menghilangkan bakteri dan virus, menghilangkan warna karena zat organik tanpa menghasilkan zat kimia berbahaya seperti hidrokarbon terklorinasi. Nanofiltrasi cocok bagi air padatan total terlarut rendah, dilunakkan dan dihilangkan organiknya.

Sifat rejeksinya khas terhadap tipe ion-ion dwivalen lebih cepat dihilangkan daripada yang ekavalen, sesuai saat membrane itu diproses, formulasi bak pembuat, suhu, waktu annealing, dan lain-lain. Formulasi dasarnya mirip osmosis balik tetapi mekanisme operasionalnya mirip ultrafiltrasi. Jadi nanofiltrasi itu gabungan antara osmosis balik dan ultrafiltrasi.

Spesifikasi Membran Nanofiltrasi :

1. Membran yang digunakan : komposit membrane
2. Ketebalan : sublayer = 150 μm , toplayer = 1 μm
3. Ukuran pori : $< 2 \mu\text{m}$
4. Driving force : tekanan (10 – 25 bar)
5. Prinsip pemisahan : solution-diffusion
6. Bahan membrane : polyamide (polimerisasi interfasi)

Aplikasi dalam industri :

1. Desalinasi air payau
2. Penghilangan mikropolutan
3. Pelunakan air
4. Pengolahan air limbah
5. Retensi dari zat warna (industri tekstil)

Tabel 2.1 Pembandingan Reverse Osmosis (RO), Ultrafiltrasi, dan Mikrofiltrasi

<i>Reverse Osmosis</i> (RO)	Ultrafiltrasi (UF)	Mikrofiltrasi (MF)
Perlu perlakuan koloid	Beroperasi pada air berkoloid	Cepat fouling karena koloid
Tekanan tinggi (10-30 bar)	Tekanan rendah (1-6 bar)	Tekanan rendah (2-6 bar)
Energi tinggi	Energi rendah	Energi rendah
Recovery rendah (50-80 %)	Recovery hingga 95 %	Recovery 100%
Toleransi pH 2-11	Toleransi pH 1-13	Toleransi pH 1-13
Suhu operasi maksimal 40°C	Suhu sampai 80 °C	Dapat dengan suhu tinggi

(Sumber : Hartomo. A.J 2006)

2.4.3. Membran Mikrofiltrasi

Proses mikrofiltrasi merupakan salah satu proses berbasis membran yang berkembang sangat pesat di awal perkembangan teknologi membran. Pertumbuhan dan perkembangannya pada tahun-tahun terakhir hanya mampu disaingi oleh reverse osmosis, akibat adanya permintaan yang sangat besar terutama untuk aplikasi proses desalinasi. Secara umum mikrofiltrasi diaplikasikan dalam proses pemisahan unsur-unsur partikulat dari larutannya. Aplikasi proses mikrofiltrasi diantaranya adalah untuk proses sterilisasi obat-obatan dan produk minuman.

Teknologi membran mikrofiltrasi adalah proses membran dengan menggunakan tekanan sebagai gaya dorong. Teknologi membran mikrofiltrasi memiliki ukuran pori antara 0,02 sampai 10 μm dan tebal antara 10 sampai 150 μm . Membran ini dapat menahan koloid, mikroorganisme dan padatan tersuspensi. Mikrofiltrasi dapat menahan bahan-bahan yang ukurannya lebih kecil dari pada rata-rata ukuran pori karena penahanan adsorptif.

Membran mikrofiltrasi juga memiliki dua struktur geometri pori, yaitu : simetrik dan asimetrik. Namun umumnya membran mikrofiltrasi berstruktur pori asimetrik. Pada membran asimetrik terdapat lapisan atas yang sangat tipis dengan tebal 0,1 – 1 μm . Untuk memberikan kekuatan mekanik, lapisan tipis ini ditunjang

oleh lapisan berikutnya yang dikenal sebagai support. Lapisan support memiliki ketebalan antara 50-150 μm dan sangat berpori.

Keuntungan mikrofiltrasi diantaranya mampu menghilangkan semua partikel dan mikroorganisme yang lebih besar dari ukuran pori, dan perawatan yang dibutuhkan minimal. Sementara kerugiannya tidak mampu menghilangkan (hanya mengurangi) senyawa anorganik terlarut, senyawa kimia, pirogen, dan semua koloid. Selain itu mikrofiltrasi tidak dapat diregenerasi. Mikrofiltrasi tidak berbeda secara fundamental dengan reverse osmosis, ultrafiltrasi ataupun nanofiltrasi kecuali dalam hal ukuran partikel yang dihilangkannya.

Penggunaan membran mikrofiltrasi dapat memisahkan partikel yang mempunyai berat molekul lebih besar dari ukuran pori kapiler membran. Tekanan pada proses filtrasi maksimum 2 bar agar serat kapiler tidak putus. Sebaiknya membran tidak digunakan untuk larutan dengan pH ekstrem dan suhu lebih dari 40°C. Teknologi membran mikrofiltrasi dapat digunakan untuk filtrasi jus buah, minyak kelapa murni, dan minyak tumbuh-tumbuhan lainnya dan menghasilkan cairan yang lebih jernih.

2.4.4. Membran Komposit

Membran komposit tersusun dari dua lapisan dengan fungsi pemisahan yang berbeda dan bahan membran yang berbeda. Membran komposit bersifat anisotropik karena memiliki sifat kimia atau struktur heterogen secara fisik. Membran komposit biasanya memiliki lapisan permukaan sangat tipis didukung pada substrat berpori tebal, lapisan tipis (film) pada kulit adalah selektif untuk melakukan pemisahan, sedangkan substrat mikro merupakan bagian yang memiliki sifat mekanis yang baik.

Berikut ini adalah beberapa alasan mengapa komposit yang dipilih untuk aplikasi :

Low density

Ketahanan mulur tinggi

Kekuatan tarik tinggi meskipun pada temperatur tinggi

High toughness

Ketersediaan material penyusun komposit melimpah

2.4.5. Polysulfone (PSF)

Polisulfon merupakan suatu polimer yang memiliki berat molekul besar, mengandung gugus sulfonat dan inti benzena dalam suatu rantai polimer utama. Polisulfon memiliki sifat yang keras, rigid, termoplastis dengan temperatur transisi gelas (T_g) antara 180°C - 250°C . Rigiditas rantai secara relatif dapat diturunkan dari ketidak lenturan dan keimobilan gugus fenil dan SO_2 , sedangkan kekerasannya muncul karena adanya gugus eter (Gigih Prasetyo, dkk ; 2013).

Sifat fisik dan kimia polisulfon antara lain adalah ; 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.

Kelebihan membran dari bahan polisulfon yaitu mempunyai kualitas mekanis dan kestabilan kimia yang cukup baik, memiliki dan juga memiliki pori yang relatif besar sehingga fluks air yang didapat juga besar (Kutowy dan Sourirajan, 1975).

2.4.6. Polyamide (PA)

Poliamida adalah polimer yang terdiri dari monomer amida yang tergabung dengan ikatan peptida. Poliamida dapat terbentuk secara alami ataupun buatan. Salah satu bentuk poliamida alami adalah protein, seperti wol dan sutra. 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 ekstrim.

Sifat fisik dan kimia poliamid adalah : moisture regain poliamida pada suhu 21°C adalah 4,2 %, titik leleh suhu 263°C dalam atmosfer nitrogen, sedangkan diudara meleleh pada suhu 250°C , berat jenis poliamida 1,14, tahan terhadap asam-asam encer, tidak terpengaruh alkali.