

TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR BERSIH



Dr. Ir. MASTIADI TAMJIDILLAH, S.T., M.T., IPM
MUHAMMAD NIZAR RAMADHAN, S.T., M.T.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR BERSIH

2023

Buku ini membahas tentang Teknologi Pengolahan Air Bersih. Konten di dalamnya mencakup Pengantar Pengolahan Air, Kualitas Air, Proses Pengolahan Air, Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi-Flotasi, dan Sistem Filtrasi. Dilengkapi dengan referensi kontemporer, sehingga para akademisi, praktisi dan mahasiswa yang sedang mempelajari pengolahan air dapat menjadikannya rujukan.



Published by
IRDH (International Research and Development for Human Being)
(Anggota IKAPI No. 33-JTE-2017)
Office:
Jl. Soekarya 70, Pundaruto,
Rusun New Zila 3rd Building C3 No 1, Malang
☎ 081 337 217 219 & ☎ 083 621 434 412
🌐 www.irdhcenter.com 📧 buku.irdh@gmail.com



Dr. Ir. MASTIADI TAMJIDILLAH, S.T., M.T., IPM.
MUHAMMAD NIZAR RAMADHAN, S.T., M.T.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR BERSIH

**Dr. Ir. MASTIADI TAMJIDILLAH, S.T., M.T., IPM.
MUHAMMAD NIZAR RAMADHAN, S.T., M.T.**

CV.IRDH

TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR BERSIH

Penulis : Dr. Ir. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T., IPM
Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T.
Editor : Cakti Indra Gunawan, S.E., M.M., Ph.D.
Penata Letak : Anita Ratna Wati, S.Si
Pracetak dan Produksi: Dito Aditia, S.Pi.
Perancang Sampul : Muhammad Usman Effendi

Hak Cipta © 2023, pada penulis

Hak publikasi pada CV IRDH

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

Cetakan Pertama Januari, 2023

Penerbit CV IRDH

Anggota IKAPI No. 159-JTE-2017

Office: Jl. Sokajaya No. 59 Purwokerto

Perum New Villa Bukit Sengkaling C9 No. 1 Malang

HP : 0813 5721 7319, WA : 089 621 424 412

www.irdhcenter.com

Email: buku.irdh@gmail.com

ISBN : 978-623-375-048-6

i-vii + 174 hlm, 17,6 cm x 25 cm

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan, ketekunan dan kesabaran sehingga penulis dapat menuntaskan buku “Teknologi Pengolahan Air Bersih” dengan baik.

Sumber literatur dari penulisan ini di antaranya bersumber dari Modul Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air yang ditulis oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2014, SNI 6774:2008 “Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air” yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional, serta ditambah dengan literatur-literatur lain yang bersumber dari buku teks, artikel ilmiah, publikasi penelitian, dan *website* dari internet untuk memperkaya konten dari buku ini.

Buku ini dapat dipergunakan sebagai referensi bagi mahasiswa maupun khalayak umum yang sedang mempelajari sistem dan teknologi pengolahan air bersih, serta menjawab keluhan atas kurangnya literatur mengenai sistem dan teknologi pengolahan air bersih, terutama pemanfaatan air sungai yang biasanya dimanfaatkan untuk sumber air baku dalam konsumsi air bersih.

Buku ini terdiri dari tujuh bagian, bab pertama tentang pengantar pengolahan air, bab kedua tentang kualitas air, bab ketiga tentang proses pengolahan air, bab keempat tentang koagulasi-flokulasi, bab kelima tentang sedimentasi-flotasi, serta bab keenam tentang sistem filtrasi..

Pada kesempatan ini, Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penulisan buku ini hingga buku ini diterbitkan, terutama kepada Lembaga Penelitian dan

Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lambung Mangkurat yang telah memiliki andil besar dalam memberi *support* kepada Penulis. Penulis juga merasa bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, dan oleh karena itu segala masukan baik berupa saran maupun kritik yang sifatnya membangun sangat diharapkan dalam rangka meningkatkan kualitas buku ini di masa mendatang.

Besar harapan Penulis semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi siapa saja yang ingin mempelajari dan mendalami tentang air bersih, terutama yang berfokus pada teknologi dalam pengolahan air bersih.

Banjarbaru, 01 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	III
DAFTAR GAMBAR.....	V
DAFTAR TABEL	VII
BAB I PENGANTAR PENGOLAHAN AIR	1
A. PENDAHULUAN	1
B. PERKEMBANGAN SEJARAH.....	2
BAB II KUALITAS AIR	7
A. ASPEK UMUM KUALITAS AIR	7
B. PARAMETER KUALITAS KIMIA AIR	11
C. PARAMETER KUALITAS KIMIA AIR LAINNYA	15
D. PARAMETER KUALITAS FISIK AIR.....	21
E. PARAMETER KUALITAS MIKROBIOLOGIS	25
BAB III PROSES PENGOLAHAN AIR	27
A. TINJAUAN UMUM	27
B. <i>INTAKE</i> AIR BAKU, POMPA, DAN PENGUKURAN ALIRAN.....	30
C. UNIT OPERASI DAN PROSES	34
D. TINJAUAN PROSES PENGOLAHAN AIR KONVENSIONAL.....	39
E. TINJAUAN PROSES PENGOLAHAN LANJUTAN	64
BAB IV KOAGULASI - FLOKULASI.....	69
A. TINJAUAN UMUM.....	69
B. KOLOID DAN PADATAN TERSUSPENSI.....	70
C. STABILITAS KOLOID.....	71
D. PROSES KOAGULASI.....	73
E. PROSES FLOKULASI.....	80
F. BAK KOAGULASI.....	81
G. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KOAGULASI-FLOKULASI	88
H. OPERASI DAN KONTROL <i>JAR TEST</i>	89
I. APLIKASI <i>JAR TEST</i>	92
BAB V SEDIMENTASI - FLOTASI.....	95
A. TINJAUAN UMUM.....	95

B.	DESKRIPSI PROSES	96
C.	SEDIMENTASI TIPE 1	98
D.	SEDIMENTASI TIPE 2	99
E.	SEDIMENTASI TIPE 3 DAN TIPE 4.....	101
F.	PERALATAN	102
G.	ASPEK OPERASIONAL.....	107
H.	FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI EFISIENSI SEDIMENTASI.....	111
I.	FLOTASI (<i>FLOTATION</i>)	117
J.	ELEMEN FLOTASI.....	122
K.	PERTIMBANGAN OPERASIONAL	123
BAB VI FILTRASI		126
A.	TINJAUAN UMUM.....	126
B.	PRINSIP KERJA FILTRASI	127
C.	JENIS-JENIS FILTRASI.....	130
DAFTAR PUSTAKA.....		159
GLOSARIUM		166
INDEKS.....		170
TENTANG PENULIS		173

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi majalah pada tahun 1852 yang menunjukkan kondisi London yang kumuh dan padat.....	3
Gambar 2. Louis Pasteur	4
Gambar 3. Unit paket IPA	29
Gambar 4. <i>Intake</i> pada SPAM IKK Kab. Bangka Tengah,	31
Gambar 5. Pipa transmisi SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali	33
Gambar 6. <i>Flow meter</i> SPAM IKK, Kab. Majene, Sulawesi Barat	33
Gambar 7. Bak prasedimentasi SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali ..	41
Gambar 8. Koagulator SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali	42
Gambar 9. Bak flokulasi SPAM IKK Kab. Gianyar, Bali	45
Gambar 10. Bak sedimentasi SPAM IKK Kab. Madiun, Jawa Timur	47
Gambar 11. <i>Dissolved air flotation</i>	52
Gambar 12. Instalasi saringan pasir.....	53
Gambar 13. Tangki bahan kimia di SPAM IKK	56
Gambar 14. Bak Pengering Lumpur di SPAM IKK.....	63
Gambar 15. Stabilitas Suspensi Koloid	72
Gambar 16. Proses Koagulasi.....	73
Gambar 17. Proses Pengikatan Koloid oleh Flokulan	80
Gambar 18. Pengadukan dengan Pompa Difusi	83
Gambar 19. Metode dan alat pencampur (a) <i>paddle mixer</i> , (b) <i>propeller mixer</i> , (c) <i>pneumatic mixer</i> , (d) <i>hydraulic mixing</i> , dan (e) <i>in-line hydraulic</i> dan <i>static mixing</i>	84
Gambar 20. Bak flokulasi tipe sekat (<i>baffle</i>).....	86
Gambar 21. Tipe-Tipe Reaktor untuk Flokulasi.....	87
Gambar 22. Alat <i>Jar Test</i>	90
Gambar 23. Ilustrasi Jenis Pengendapan yang Berbeda	96
Gambar 24. <i>Ideal Settling Basin</i>	99
Gambar 25. <i>Primary clarifier</i>	101
Gambar 26. Pengendapan pada <i>final clarifier</i>	102
Gambar 27. Tangki sedimentasi persegi empat dengan aliran horizontal.....	103
Gambar 28. Skematik dari tangki pengendapan melingkar dengan saringan pusat	104
Gambar 29. Zona pengendapan dalam tangki sedimentasi horizontal	106

Gambar 30. Tangki sedimentasi horizontal	111
Gambar 31. Pemisahan <i>solid-liquid</i> dengan cara flotasi	117
Gambar 32. Mekanisme <i>dissolved-air flotation</i>	119
Gambar 33. <i>Vacuum flotation</i>	120
Gambar 34. Kombinasi Proses Flotasi dan Filtrasi	121
Gambar 35. <i>Chain-flight collector</i> (a) Mekanisme (b) Tampilan visual	124
Gambar 36. Skema Metode Filtrasi.....	130
Gambar 37. <i>Rapid Sand Filter</i>	131
Gambar 38. <i>Slow Sand Filter</i>	135
Gambar 39. Sistem pengolahan air dengan PAC menggunakan bak kontak karbon aktif	140
Gambar 40. Sistem pengolahan air dengan PAC, dengan cara pembubuhan di dalam bak koagulasi-sedimentasi (<i>clarifier</i>). 140	
Gambar 41. Sistem pengolahan air dengan GAC metode	143
Gambar 42. Sistem pengolahan air dengan GAC, dengan metode <i>point of use filters</i>	144
Gambar 43. Teknologi filtrasi membran	145
Gambar 44. <i>Dead-end microfiltration</i> dan <i>cross-flow microfiltration</i>	147
Gambar 45. (a) <i>Tubular membrane</i> (b) <i>Hollow fiber membrane</i>	148
Gambar 46. Hasil akhir dari proses UF	150
Gambar 47. Hasil akhir dari proses UF	151
Gambar 48. Hasil akhir dari proses UF	152
Gambar 49. Skema proses RO.....	155

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Macam-Macam Sistem Koloid Berdasarkan Fase Pendispersi dan Terdispersinya.....	10
Tabel 2. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi ..	13
Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Kesadahan.....	17
Tabel 4. Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi .	25
Tabel 5. Komponen Paket Unit Pengolahan Air.....	29
Tabel 6. Unit Proses dalam Pengolahan Air.....	35
Tabel 7. Kriteria Perencanaan Unit Koagulasi (Pengaduk Cepat)	42
Tabel 8. Kriteria Perencanaan Unit Flokulasi (Pengaduk Lambat).....	46
Tabel 9. Kriteria Perencanaan Unit Sedimentasi.....	48
Tabel 10. Tebal Pelat IPA Dinding Rata, <i>Corrugated</i> dan Kapasitas IPA.....	49
Tabel 11. Tinggi bebas di unit sedimentasi dan kapasitas IPA	49
Tabel 12. Tinggi Tegak Pelat Pengendap Dan Kapasitas IPA	50
Tabel 13. Diameter <i>Tube Settler</i> dan Kapasitas IPA	50
Tabel 14. Kriteria Perencanaan Unit Flotasi	51
Tabel 15. Kriteria Perencanaan Unit Filtrasi (Saringan Cepat).....	55
Tabel 16. Tahapan di Dalam Proses Penggumpalan Koloid	70
Tabel 17. Waktu Pengendapan Berbagai Jenis Partikel	72
Tabel 18. Penerapan Dosis Flokulan	81
Tabel 19. Jenis Perilaku Pengendapan dalam Pengolahan Air Minum.	97
Tabel 20. Kriteria media filter menurut AWWA dan JWVA.....	132
Tabel 21. Kriteria <i>Gravel</i> Menurut JWVA.....	132
Tabel 22. Perbandingan kecepatan antara SSF dan RSF.....	134
Tabel 23. Ringkasan perbedaan antara RSF dan SSF	137
Tabel 24. Standar pemilihan PAC untuk pengolahan air	139
Tabel 25. Contoh spesifikasi GAC	142

BAB I

PENGANTAR PENGOLAHAN AIR

A. Pendahuluan

Istilah “kualitas air” menggambarkan karakteristik fisik, kimia dan mikrobiologi dari air. Sifat-sifat ini secara kolektif menentukan kualitas air secara keseluruhan dan kelayakan air untuk penggunaan tertentu. Sifat-sifat ini bersifat intrinsik terhadap air atau merupakan hasil dari zat-zat yang terlarut atau tersuspensi di dalam air.

Kualitas air sangat bermakna bila dievaluasi dalam kaitannya dengan penggunaan air. Alasannya adalah bahwa air dengan kualitas tertentu mungkin cocok untuk penggunaan tertentu pula, tetapi bisa jadi tidak layak untuk penggunaan lain. Misalnya, air yang layak untuk konsumsi manusia mungkin tidak cocok sebagai air umpan *boiler* karena garam anorganik terlarut yang dapat diterima dalam air minum, tidak dapat ditoleransi dalam air umpan *boiler*, karena dapat mengendap dan menyebabkan penyumbatan pada peralatan *boiler*.

Air yang layak untuk keperluan rumah tangga (air minum) harus memenuhi persyaratan tertentu. Persyaratan yang paling penting adalah harus aman untuk dikonsumsi. Banyak sumber air baku yang justru mengandung mikroorganisme berbahaya atau zat lain yang dalam konsentrasi tertentu membuat air tidak aman untuk diminum atau tidak layak untuk penggunaan rumah tangga sehari-hari. Organisme dan zat ini harus dihilangkan dari air melalui proses pengolahan agar air layak digunakan. Selain persyaratan bahwa air harus aman untuk diminum, air untuk keperluan rumah tangga juga harus jernih, tidak mempunyai

rasa, tidak berbau, dan stabil secara kimiawi, yaitu tidak menyebabkan korosi atau membentuk endapan di dalam air maupun perpipaan.

Oleh karena itu, tujuan utama pengolahan air adalah untuk secara konsisten menghasilkan air yang layak untuk penggunaan rumah tangga dengan biaya yang wajar bagi konsumen. Sebuah instalasi pengolahan air menggunakan banyak proses pengolahan yang biasanya disebut proses unit dan operasi unit, yang dihubungkan dalam serangkaian proses untuk menghasilkan air berkualitas.

B. Perkembangan Sejarah

Referensi pertama untuk air bersih berasal dari sekitar 3000 tahun zaman Alkitab. Saluran air Romawi adalah *landmark* yang kemudian terkenal di Eropa sebagai saksi penyaluran air bersih ke kota-kota. Pada abad ke-18, proses menghilangkan partikel berbahaya dari air dengan penyaringan dikenal sebagai cara yang efektif untuk menjernihkan air, dan perusahaan penyaringan air kota pertama yang mulai beroperasi berada di Skotlandia (tahun 1832). Namun, tujuan utama pada masa itu hanya sebatas memasok air bersih karena masih minimnya teori kuman dan pengetahuan terkait penyakit yang dapat disebarkan melalui air.

Baru pada tahun 1855, seorang epidemiologi asal Inggris bernama Dr. John Snow menunjukkan secara empiris bahwa wabah kolera di London disebabkan oleh air minum yang terkontaminasi oleh limbah feses dari pasien kolera. Namun, sayangnya konsep dan proses disinfeksi sebagai tindakan pencegahan penyakit baru berkembang beberapa tahun kemudian.



Gambar 1. Ilustrasi majalah pada tahun 1852 yang menunjukkan kondisi London yang kumuh dan padat
(Sumber : <https://www.yourgenome.org/stories/>)

Perkembangan penelitian terhadap kuman dan mikroorganisme terus berlanjut. Seorang ahli kimia berkebangsaan Perancis, Louis Pasteur (1822–1895), menaruh perhatian pada mikroorganisme dan bakteri (Widodo, 2014). Pasteur juga menemukan cabang ilmu baru dalam biologi yaitu mikrobiologi. Mikrobiologi merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang mikroorganisme seperti virus dan bakteri. Ilmu ini juga mempelajari bagaimana mikroorganisme dapat hidup, berkembang biak, hingga masuk ke dalam tubuh manusia.



Gambar 2. Louis Pasteur

(Sumber : <https://bobo.grid.id/read/08681574/>)

Pasteur melakukan penelitian mikroba pada tahun 1857. Penelitiannya berpusat pada fermentasi. Pasteur membuktikan bahwa fermentasi hanya terjadi bila ada makhluk hidup berukuran kecil yang disebut mikroba. Bila ada mikroba yang cocok, maka akan diperoleh hasil yang diharapkan. Tapi mikroba yang tidak cocok akan membuat susu menjadi asam. Temuan Pasteur ini yang membantu terbentuknya cabang ilmu mikrobiologi. Pasteur juga berhasil mematahkan penemuan sebelumnya yang berkata bahwa mikroba lahir secara spontan melalui cacing atau belatung. Pasteur menjelaskan bahwa mikroba itu berasal dari kehidupan sebelumnya (memiliki induk) dan bukan hasil dari spontanitas organisme lain. Dengan ini, Pasteur berhasil mengubah pemikiran banyak orang soal muncul dan lahirnya mikroba.

Pada awal 1900-an, klorinasi mulai diperkenalkan sebagai proses pengolahan untuk mendisinfeksi air. Salah satu penggunaan klorinasi pertama untuk disinfeksi persediaan air terjadi pada tahun 1897, ketika larutan pemutih digunakan untuk mendisinfeksi saluran air utama di Maidstone, Kent, Inggris, setelah wabah tipus melanda. Penggunaan

reguler pertama (natrium hipoklorit) yang diketahui terjadi pada tahun 1905 di Lincoln, Inggris, pasca terjadinya epidemi tipus. Pada tahun 1908 di Chicago, Illinois, AS, klorinasi dilakukan dengan menambahkan CaOCl_2 ke air sungai yang terkontaminasi. Akhirnya, klorinasi terhadap pasokan air sungai di AS pada pergantian abad menjadi signifikan karena dapat diredamnya kekhawatiran publik mengenai ketidakefektifan, potensi bahaya yang ditimbulkan, dan ketidakinginan khalayak umum terkait penambahan klorin ke pasokan air. Perkembangan ini dengan cepat diikuti oleh sebagian besar negara industri. Akibatnya, sebagian besar pasokan air publik skala besar sekarang didisinfeksi secara kimiawi dengan klorin, meskipun ada banyak pasokan lokal skala kecil (seperti sumur, mata air) yang tidak didisinfeksi dengan cara apa pun.

Penelitian tentang koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi sebagai proses dasar pengolahan air selama awal abad sebelumnya mempunyai andil pada perkembangan pemahaman tentang proses *treatment* air dan kinerja yang jauh lebih baik. Proses baru akhirnya dikembangkan selama waktu itu di Eropa. Penggunaan ozon untuk disinfeksi dan peningkatan rasa dan warna diperkenalkan pada awal abad di Prancis dan Jerman.

Perkembangan yang paling signifikan sejak pengenalan klorin pada abad sebelumnya adalah perkembangan membran sintetik sebagai proses pengolahan air. Penggunaan membran *reverse osmosis* praktis pertama untuk desalinasi air laut dikembangkan pada tahun 1960-an. Kemudian, jenis membran lain juga dikembangkan, termasuk membran nanofiltrasi (NF), ultrafiltrasi (UF) dan mikrofiltrasi (MF). Membran-membran ini kemudian diaplikasikan dalam pengolahan air selain

desalinasi. Misalnya, membran NF dan UF digunakan untuk menggantikan beberapa proses pengolahan konvensional untuk menghilangkan zat organik alami dan mikroorganisme yang terkandung di air.

Semua teknologi pengolahan air yang semakin berkembang dari masa ke masa tentunya memberikan dampak yang lebih baik terhadap kehidupan masyarakat, terutama pada aspek kesehatan pada masyarakat itu sendiri. Namun, perkembangan tersebut juga harus sejalan dengan kebutuhan akan insinyur, *engineer*, operator terlatih, serta kontrol proses yang semakin meningkat, dan upaya khusus diperlukan untuk menyediakan orang-orang yang terlatih dengan tepat di semua tingkatan dalam industri pengolahan dan pasokan air. Adapun beberapa tantangan utama yang dihadapi industri pengolahan air saat ini meliputi:

- Penurunan kualitas sumber air baku.
- Penghapusan zat organik sintetis yang berpotensi membahayakan dari sumber air.
- Penghapusan mikroorganisme resisten dari air.
- Peningkatan kemampuan dalam mengontrol proses, terutama untuk proses yang baru dan optimalisasi terhadap proses yang sudah ada.
- Tuntutan untuk proses yang terintegrasi dan fleksibel.

BAB II

KUALITAS AIR

A. Aspek Umum Kualitas Air

Air merupakan zat yang unik dan salah satu karakteristiknya yang unik adalah kemampuannya untuk melarutkan berbagai zat. Saat air bergerak melalui siklusnya, yang disebut siklus hidrologi, yang terdiri dari evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, sublimasi, kondensasi, adveksi, presipitasi, *run off*, infiltrasi, serta konduksi, air bersentuhan dengan banyak zat berbeda yang dapat dilarutkan oleh air pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil, atau yang mungkin tersuspensi di dalam air. Jenis dan jumlah zat terlarut bersama dengan zat tersuspensi dan zat koloid itu lah yang kemudian akan menentukan kualitas air secara keseluruhan dan kelayakannya untuk digunakan atau dikonsumsi.

Jenis kontaminan atau zat yang menjadi perhatian dalam air bermacam-macam, termasuk di antaranya garam anorganik, mikro-organisme, partikel tanah liat dan material organik. Mereka sebenarnya memiliki karakteristik serupa sehingga biasanya dapat dikelompokkan untuk dapat diperlakukan dengan jenis *treatment* yang sama. Zat yang menjadi perhatian dalam air dapat dikategorikan antara lain sebagai zat terlarut atau tersuspensi, sebagai zat anorganik atau organik, sebagai zat makro atau mikro, sebagai zat alami atau sintetis, suspensi mikro-organisme, dan sebagainya. Beberapa karakteristik kelompok zat yang berbeda tersebut akan dibahas dalam bagian berikut ini.

a. Zat terlarut

Sebagian besar zat pada tingkat yang lebih besar atau lebih kecil akan dilarutkan oleh air. Zat-zat yang terlarut dalam air antara lain gas seperti oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2) dan amonia (NH_3), senyawa anorganik seperti natrium klorida ($NaCl$) dan kalsium sulfat ($CaSO_4$) dan zat organik seperti asam humat dan karbohidrat.

Zat terlarut umumnya lebih sulit untuk dihilangkan dari air daripada zat tersuspensi, karena mereka terlebih dahulu harus diubah menjadi bentuk padat melalui pengendapan, atau diubah ke bentuk gas dengan cara oksidasi sehingga gas dapat keluar atau dikeluarkan dari air. Metode lain untuk menghilangkan zat terlarut juga bisa dengan menggunakan proses lanjutan seperti *Reverse Osmosis* (RO) atau adsorpsi karbon aktif.

b. Zat tersuspensi dan koloid

Koloid adalah campuran yang berada di antara larutan sejati dan suspensi, biasanya ukuran partikel koloid adalah 1-1.00 μm . Oleh karena bentuk ukuran dari partikel koloid dibandingkan dengan ukuran medium dimana partikel itu tersebar maka pada koloid terdapat fasa terdispersi dan medium pendispersi (Brady, 1999).

Pada tahun 1925, H. Freundlich mengklasifikasikan dispersi menjadi 3 golongan besar, yaitu larutan, larutan koloid dan suspensi (Puluhulawa, 2020). Diantara ketiga jenis golongan tersebut, koloid dan suspensi digolongkan ke dalam campuran heterogen, karena partikel-partikel yang terlarut di dalamnya

masih dapat terlihat, sedangkan untuk larutan sejati, antara zat pelarut dan terlarut sudah tidak bisa dibedakan lagi.

Suspensi adalah sistem dispersi yang mudah mengalami pengendapan (sedimentasi) karena ukuran partikelnya besar sehingga akan menghasilkan endapan zat terlarut. Padatan tersuspensi biasanya dapat ditentukan dengan menyaring padatan tersuspensi dari sampel air yang massa airnya diketahui, dan kemudian menentukan massa padatan keringnya. Ukuran partikel suspensi yang paling besar > 100 nm. Di sisi lain, partikel koloid berukuran terlalu kecil untuk mengendap dan mempunyai muatan listrik yang mencegahnya mengendap, sehingga partikel koloid dapat melayang dalam air selama berhari-hari tanpa mengendap. Kisaran ukuran koloid umumnya dianggap memanjang dengan ukuran sekitar 10 nanometer (nm) sampai 1 mikrometer (μm).

Sistem koloid didefinisikan sebagai jenis campuran di mana satu bagian terdispersi secara konstan ke bagian lain. Sistem koloid terdiri dari dua fase terpisah, yaitu fase terdispersi (atau fase internal) dan fase kontinu (atau medium pendispersi) (Manisha, 2019). Zat yang didistribusikan sebagai partikel koloid disebut fase dispersi. Fase kontinu kedua di mana partikel koloid terdispersi disebut medium dispersi. Misalnya, untuk larutan koloid tembaga dalam air, partikel tembaga merupakan fasa terdispersi dan air merupakan media dispersi. Fase terdispersi mengacu pada fase yang membentuk partikel. Media dispersi adalah media tempat terjadinya dispersi partikel. Karena fasa terdispersi atau medium dispersi dapat berupa gas, cair atau padat, ada delapan jenis sistem koloid yang mungkin terjadi.

Dispersi koloid dari satu gas ke gas lainnya tidak dimungkinkan karena kedua gas akan menghasilkan campuran molekul yang homogen (Ogemdi, 2019).

Tabel 1. Macam-Macam Sistem Koloid Berdasarkan Fase Pendispersi dan Terdispersinya

Fasa Pendispersi	Fasa Terdispersi	Nama	Contoh
Cairan	Gas	Aerosol Cair	Kabut
Padat	Gas	Aerosol Padat	Asap, debu
Gas	Cairan	Busa	Larutan sabun. Busa pemadam kebakaran
Cairan	Cairan	Emulsi	Susu, mayones
Padat	Cairan	Sol, suspensi, koloid, pasta	Sol Au, Sol Ag, tinta, cat, pasta gigi
Gas	Padat	Busa padat	Polistirena yang dikembangkan
Cairan	Padat	Emulsi padat (gel)	Mentega, keju, mutiara
Padat	Padat	Suspensi padat	Plastik berpigmen

(Sumber : Arnelli & Astuti, Y. 2019)

Partikel koloid memberikan beberapa sifat yang tidak diinginkan pada air, di antaranya:

- Kekeruhan yang paling sering terjadi disebabkan oleh mineral lempung anorganik di permukaan air. Sebagian besar partikel kekeruhan bersifat hidrofobik (menolak air) dan ukurannya berkisar dari 0,2 μm - 10 μm . Kekeruhan dapat dengan mudah dihilangkan dengan metode koagulasi-flokulasi dan pemisahan.
- Zat organik koloid, yaitu asam humat dan asam fulvat dengan massa molekul berkisar antara 800 dan 50.000 Dalton (satuan Massa Mol), umumnya menimbulkan warna pada air. Koloid logam hidroksida (misalnya besi) juga menyebabkan warna dalam air. Sebagian besar partikel yang mengakibatkan

timbulnya warna tersebut bersifat hidrofilik (menarik air) dan lebih sulit dihilangkan dengan koagulasi.

- Bakteri, virus, dan mikroalga juga bersifat koloid. Mereka terdiri dari molekul organik polar, terhidrasi dan hidrofilik.
- Senyawa organik kompleks tertentu yang dihasilkan dari pengolahan air limbah industri juga dapat dianggap sebagai koloid.

Suspensi koloid bersifat stabil dan harus didestabilisasi sebelum memungkinkan untuk mengagregasinya menjadi partikel flok yang lebih besar yang dapat dihilangkan dengan sedimentasi dan filtrasi. Destabilisasi dipengaruhi oleh koagulasi, dan agregasi dipengaruhi oleh flokulasi. Proses-proses ini akan dibahas dalam bab-bab berikutnya.

B. Parameter Kualitas Kimia Air

Zat organik dan anorganik terlarut menentukan kualitas kimia yang dimiliki air. Zat-zat ini memiliki berbagai efek pada sifat kimia air. Misalnya, beberapa zat ini dapat menjadi racun (kromium, arsenik), sementara zat lainnya menyebabkan air menjadi keras atau membentuk kerak (kalsium karbonat), dan senyawa kimia lainnya dapat mempengaruhi rasa dan bau pada air (natrium klorida, geosmin).

Berbagai macam senyawa kimia anorganik dapat hadir dalam air. Senyawa-senyawa tersebut seperti natrium klorida (NaCl) dan kalsium sulfat (CaSO_4) yang larut dalam air dengan bentuk ion masing-masing, yaitu Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- dan SO_4^{2-} . Jumlah total senyawa anorganik terlarut dalam air dinyatakan sebagai konsentrasi *Total Dissolved Inorganic Solids* (TDIS atau biasanya disebut TDS) dalam mg/l. *Total Dissolved*

Solid (TDS) merupakan istilah untuk menandakan jumlah padatan terlarut atau konsentrasi jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air. TDS digambarkan dengan jumlah zat terlarut dalam *part per million* (ppm) atau milligram per Liter (mg/L). Umumnya peningkatan TDS dalam air akan menyebabkan kesadahan dalam air juga meningkat.

Konsentrasi dari TDS yang terionisasi dalam suatu zat cair dapat mempengaruhi konduktivitas listrik pada zat cair tersebut (Zamora, *et al*, 2015). Kandungan TDS dalam air biasanya disebabkan karena adanya bahan anorganik berupa ion-ion yang umum dijumpai di perairan. Sebagai contoh air buangan sering mengandung molekul sabun, deterjen dan surfaktan yang larut dalam air, misalnya pada air buangan rumah tangga dan industri pencucian (Anonim, 2020).

Analisis kimia anorganik lengkap harus dilakukan secara berkala terhadap air baku dan pengolahan akhir untuk menentukan apakah ada senyawa berbahaya dalam air baku pada konsentrasi yang melebihi batas aman. Analisis penuh terhadap air baku harus dilakukan minimal setahun sekali sedangkan analisis terhadap air olahan harus sesuai dengan spesifikasi atau pedoman yang telah dituangkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017.

Tabel 2. Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Wajib			
1.	pH	mg/l	6,5 - 8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Fluorida	mg/l	1,5
4.	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Nitrat, sebagai N	mg/l	10
7.	Nitrit, sebagai N	mg/l	1
8.	Sianida	mg/l	0,1
9.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1
Tambahan			
1.	Air raksa	mg/l	0,001
2.	Arsen	mg/l	0,05
3.	Kadmium	mg/l	0,005
4.	Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
5.	Selenium	mg/l	0,01
6.	Seng	mg/l	15
7.	Sulfat	mg/l	400
8.	Timbal	mg/l	0,05
9.	Benzene	mg/l	0,01
10.	Zat organik (KMNO ₄)	mg/l	10

(Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017)

Selain zat anorganik, berbagai macam zat organik juga dapat hadir dalam air. Zat-zat ini dapat berupa zat alami seperti bahan tanaman yang membusuk, alga atau produk sampingan bakteri dan karbohidrat, serta senyawa sintetis seperti pestisida, herbisida dan pelarut serta produk yang terbentuk selama pengolahan air seperti kloroform dan produk terklorinasi lainnya. Ada ribuan senyawa organik yang telah diidentifikasi dalam air, kebanyakan dari senyawa tersebut terdapat dalam konsentrasi yang sangat rendah.

Senyawa organik memiliki karbon sebagai unsur utama dalam komposisinya dan sebagian besar tidak masuk ke larutan sebagai ion, tetapi masuk ke larutan sebagai molekul senyawa. Senyawa organik ditentukan melalui oksidasi sebagai senyawa individu atau sebagai kelompok senyawa. Indikasi kualitas organik air secara umum dapat diperoleh dengan cara penentuan parameter kumulatif seperti *Total Organic Carbon* (TOC), *Dissolved Organic Carbon* (DOC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD).

Senyawa organik individu atau kelompok senyawa umumnya ditentukan dengan *Gas Chromatography and Mass Spectrohotometry* (GC-MS) atau dengan metode khusus lainnya. Salah satu kelompok senyawa organik yang menjadi perhatian khusus dalam pengolahan air minum adalah yang disebut Trihalomethane (THM). THM adalah senyawa yang terdiri dari empat bahan kimia, yaitu kloroform, bromodiklorometan, dibromokolometan, dan bromoform. Senyawa ini terbentuk bersama dengan disinfeksi air yang dihasilkan dari klorin. Saat klorin yang digunakan untuk mengendalikan kontaminasi mikroba di dalam air tidak sengaja bereaksi dengan material organik yang sudah

membusuk (daun, kayu, atau buah), maka akan menghasilkan senyawa berbahaya yang dinamakan Trihalomethane (Anonim, 2021).

C. Parameter Kualitas Kimia Air Lainnya

Dalam pengolahan air, ada sejumlah parameter kimia lainnya yang juga menjadi perhatian. Parameter tersebut antara lain alkalinitas, kekerasan, stabilitas kimia, dan spesies klorin gabungan.

1) Alkalinitas

Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau dikenal dengan *Acid Neutralizing Capacity* (ANC) atau kuantitas anion dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen (Effendi, 2003).

Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga (*buffer capacity*) terhadap perubahan pH perairan. Alkalinitas berperan penting untuk menyangga air dan mencegah perubahan pH akibat penambahan asam, atau bahan kimia penghasil asam seperti besi klorida. Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga terhadap penurunan pH perairan. Secara khusus, alkalinitas sering disebut sebagai besaran yang menunjukkan kapasitas penyanggahan ion bikarbonat, dan sampai dengan tahap tertentu, juga menunjukkan penyanggahan terhadap ion karbonat dan hidroksida dalam air. Makin tinggi alkalinitas, makin tinggi pula kemampuan air untuk menyangga sehingga fluktuasi pH perairan makin rendah. Alkalinitas biasanya dinyatakan dalam kalsium karbonat dengan satuan ppm (mg/L).

2) Kesadahan (*Hardness*)

Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Kesadahan air terjadi karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , atau dapat juga disebabkan adanya ion-ion lain dari polyvalent metal (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil. Air yang memiliki sifat sadah ditemukan pada wilayah yang menggunakan sumber air tanah/sumur dimana pada daerah tersebut memiliki lapisan tanah yang mengandung deposit garam mineral, kapur, dan kalsium (Chandra, 2007). Berbagai bentuk kesadahan dapat dibedakan menjadi:

- *Carbonate hardness* atau *temporary hardness*, yang disebabkan oleh kalsium dan magnesium yang berasosiasi dengan bikarbonat di dalam air.
- *Non-carbonate hardness* atau *permanent hardness*, yang disebabkan oleh kalsium dan magnesium yang berasosiasi dengan ion-ion selain bikarbonat seperti klorida dan sulfat.
- *Calcium hardness*, yang disebabkan oleh semua ion kalsium dalam larutan.
- *Magnesium hardness*, yang disebabkan oleh semua ion magnesium dalam larutan.
- *Total hardness*, yang merupakan jumlah kesadahan kalsium dan magnesium.

Tingkat kesadahan di berbagai tempat perairan berbeda-beda. Pada umumnya air tanah mempunyai tingkat kesadahan yang tinggi, dikarenakan air tanah mengalami kontak dengan batuan kapur yang ada pada lapisan tanah yang dilalui air. Sedangkan

pada air permukaan tingkat kesadahan nya lebih rendah, dikarenakan kesadahan air permukaan bersumber dari kalsium sulfat yang terdapat dalam tanah liat dan endapan lainnya. Tingkat kesadahan air dapat digolongkan seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Kesadahan

Tingkat Kesadahan	Total Kesadahan (mg/L CaCO₃)
Lunak (<i>soft</i>)	< 50
Cukup lunak (<i>reasonably soft</i>)	50 – 100
Sedikit tinggi (<i>slightly hard</i>)	100 – 150
Cukup tinggi (<i>reasonably hard</i>)	150 – 250
Tinggi (<i>hard</i>)	250 – 350
Tinggi sekali (<i>very hard</i>)	> 350

(Sumber : Schutte, 2006)

3) Stabilitas Kimia

Stabilitas kimia pada air merupakan karakteristik yang sangat penting karena menentukan apakah air akan stabil secara kimiawi, bersifat *aggressive-corrosive* atau memicu pembentukan kerak (*scale*). Hal ini sangat penting diperhatikan karena berimplikasi pada biaya pemeliharaan sistem distribusi air.

Korosi adalah suatu proses elektrokimia dimana atom-atom akan bereaksi dengan zat asam dan membentuk ion-ion positif (kation). Hal ini akan menyebabkan timbulnya aliran-aliran elektron dari suatu tempat ke tempat yang lain pada permukaan metal. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air. Kalsium karbonat (CaCO₃) sering digunakan sebagai pengontrol korosi, dimana kalsium karbonat tersebut akan mengendap dan

membentuk lapisan pelindung permukaan metal, tetapi di sisi lain penggunaan CaCO_3 cenderung menimbulkan masalah *scale*.

Istilah *scale* dipergunakan secara luas untuk deposit keras yang terbentuk pada peralatan yang kontak atau berada dalam air. Dalam proses distribusi air sering ditemui mineral *scale* seperti CaSO_4 , FeCO_3 , CaCO_3 , dan MgSO_4 . Penyebab terbentuknya deposit *scale* adalah terdapatnya senyawa-senyawa tersebut dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Faktor utama yang berpengaruh besar pada kelarutan senyawa-senyawa pembentuk *scale* ini adalah kondisi fisik (tekanan, temperatur, konsentrasi ion-ion lain dan gas terlarut). Pembentukan *scale* menyebabkan berbagai masalah operasional. Apabila *scale* terbentuk pada pipa maka akan terjadi pengurangan diameter pipa sehingga akan menurunkan debit air yang melalui pipa tersebut. Selain itu, *scale* juga dapat mengakibatkan penyumbatan pada sistem penyaring dan *valve*.

Ada berbagai metode untuk menyatakan stabilitas kimia, salah satunya menggunakan indeks saturasi. Indeks saturasi (*saturation index*) adalah perbandingan pH sesungguhnya dengan pH teoritis berdasarkan sifat fisik dan kimia air. Nilainya berkisar dari negatif hingga positif. Nilai negatif mengindikasikan potensi korosi dan nilai positif mengindikasikan pembentukan kerak (*scale*). Nilai mendekati nol mengindikasikan air bersifat seimbang dan terhindar dari korosi maupun *scale*. Indeks yang telah digunakan umumnya adalah *Langelier Saturation Index* (LSI) dan *Ryznar Stability Index* (RI) (Martindaru, 2008).

Selain indeks saturasi, metode lain yang bisa dipakai untuk menentukan stabilitas kimia air adalah dengan menghitung potensi pengendapan kalsium karbonat pada air yang biasa disebut *Calcium Carbonate Precipitation Potential* (CCPP). CCPP didefinisikan sebagai jumlah CaCO_3 yang secara teoritis dapat mengendap atau larut dari air untuk mencapai kesetimbangan dengan fase padat CaCO_3 . Apabila nilai CCPP nol, maka menunjukkan bahwa air berada dalam kesetimbangan terhadap CaCO_3 . Kemudian jika CCPP bernilai negatif, air dapat melarutkan CaCO_3 , dan jika CCPP bernilai positif, ada kemungkinan terjadi pengendapan CaCO_3 . Tidak seperti indeks saturasi, CCPP menunjukkan kecenderungan air untuk mengendapkan atau melarutkan CaCO_3 dan kuantitas yang mungkin diendapkan atau dilarutkan.

4) Residu Klorin

Klorin adalah senyawa kimia yang berfungsi untuk menghambat perkembangan mikroorganisme penyebab penyakit di air. Senyawa kimia ini terdapat dalam berbagai macam bentuk, baik padat, cair maupun gas. Kegunaan klorin yang telah lama diketahui adalah sebagai disinfektan dalam pengolahan air minum, yang disebut juga sebagai proses klorinasi. Dilansir dari laman Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Indonesia, senyawa yang digunakan untuk pengolahan air minum biasanya berbentuk gas klor (Widyawinata, 2021).

Meski klorin berfungsi sebagai zat disinfektan yang baik, namun klorin juga bisa menyebabkan keracunan jika digunakan melebihi batas wajar. Selain itu, kehadiran klorin bebas dalam air

minum berkorelasi dengan tidak adanya sebagian besar organisme penyebab penyakit, dan parameter ini menjadi salah satu ukuran kelayakan air minum. Oleh karena itu, diperlukan uji yang presisi dan akurat untuk melakukan monitoring terhadap kadar klorin. (Anonim, 2021).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990, batas minimum diperbolehkannya sisa klor dalam air kolam renang yaitu sebanyak 0,2 mg/L (ppm) dan batas maksimum 0,5 mg/L. Menurut SNI 01-3553-2006 batas maksimum klor bebas untuk air minum adalah 0,1 mg/L. Sedangkan persyaratan batas klorin untuk air minum menurut PerMenKes RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum yaitu maksimum 5 mg/L. (Ramli et al, 2014).

Setiap jenis klorin yang ditambahkan ke air selama proses pengolahan akan menghasilkan pembentukan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl⁻), yang merupakan senyawa desinfektan utama dalam air terklorinasi dan dikenal sebagai klorin bebas (*free chlorine*). Ketika klorin ditambahkan ke air sebagai desinfektan, serangkaian reaksi terjadi saat bahan organik dan logam yang ada di dalam air bereaksi sehingga mengubahnya menjadi senyawa yang tidak efektif untuk kebutuhan disinfeksi. Jumlah klorin yang digunakan dalam reaksi ini disebut kebutuhan klorin air. Setiap konsentrasi klorin yang tersisa setelah permintaan klorin terpenuhi disebut klorin total (Anonim, 2021). Klorin total dibagi lagi menjadi:

1. Jumlah klorin yang kemudian bereaksi dengan nitrat yang ada di dalam air dan diubah menjadi senyawa yang kurang efektif sebagai disinfektan daripada klorin bebas (disebut klorin gabungan).
2. Klorin bebas, yaitu klorin yang tersedia untuk menonaktifkan organisme penyebab penyakit. Oleh karena itu, jika kita menguji air dan menemukan bahwa masih ada sisa klorin bebas, ini membuktikan bahwa organisme paling berbahaya di dalam air telah dihilangkan dan aman untuk diminum. Kegiatan ini yang kemudian disebut sebagai pengukuran residu klorin.

Pengukuran residu klorin dalam pasokan air adalah metode yang sederhana namun penting untuk memeriksa apakah air yang dialirkan aman untuk diminum. Pemeriksaan residu klorin harus dilakukan secara teratur. Jika sistem yang digunakan merupakan sistem yang baru, maka pemeriksaan harus dilakukan setiap hari sampai proses klorinasi berjalan dengan baik. Setelah itu, pengecekan bisa dilakukan minimal seminggu sekali.

D. Parameter Kualitas Fisik Air

Kualitas fisik air ditentukan oleh sifat-sifat intrinsik serta zat-zat terlarut dan koloid di dalam air. Sifat fisik intrinsik meliputi suhu, viskositas, dan tegangan permukaan. Sifat fisik lainnya seperti daya hantar listrik, warna, rasa dan bau ditentukan oleh adanya zat terlarut dan koloid di dalam air. Beberapa karakteristik air sering diindikasikan sebagai karakteristik fisik, padahal sebenarnya cenderung bersifat kimiawi, misalnya pH. Sifat-sifat yang seperti ini juga bisa disebut sifat

fisika-kimia. Sifat fisik secara umum yang berperan dalam pengolahan air dibahas pada bagian berikut.

1) **Kekeruhan**

Kekeruhan memberikan indikasi konsentrasi partikel koloid dalam air. Kekeruhan dinyatakan dalam satuan kekeruhan yaitu *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Kekeruhan dapat diketahui dengan menggunakan suatu alat bernama nephelometer, dengan prinsip kerja membandingkan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh sampel air dengan intensitas cahaya yang dihamburkan oleh referensi/acuan standar di pengukur kekeruhan.

Kekeruhan air baku bisa bernilai 1 atau 2 NTU untuk jenis air tanah dan bisa bernilai sampai beberapa ratus NTU untuk air permukaan yang keruh. Nilai kekeruhan air minum sebaiknya bernilai <1 NTU. Berdasarkan persyaratan kualitas air minum dalam PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, nilai maksimum kekeruhan yang diperbolehkan adalah 5 NTU.

2) **Nilai pH**

pH air diukur dalam satuan pH. Nilai pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen $[H^+]$ dalam air yang dinyatakan sebagai nilai logaritmik. pH memberikan indikasi seberapa asam atau basa air tersebut. Karena konsentrasi $[H^+]$ dan $[OH^-]$ dapat bervariasi pada kisaran yang sangat luas dari 10^0 sampai 10^{-14} , maka penggunaan skala logaritmik lebih mudah dalam menyatakan konsentrasi. Untuk tujuan ini fungsi pH dinyatakan sebagai:

$$pH = -\log [H^+] \quad (2.1)$$

di mana $[H^+]$ adalah konsentrasi ion hidrogen yang dinyatakan dalam mol/l.

pH juga menjadi faktor dalam sistem perpipaan air minum. Nilai pH air murni sendiri adalah sekitar 7 pada suhu $25^{\circ}C$. Jika pH air menunjukkan angka <7 , maka berarti air tersebut cenderung asam. Sedangkan jika pH air menunjukkan angka >7 , maka air cenderung basa. Ketika pH air $< 6,5$ dan $> 9,5$ tentunya akan mempercepat terjadinya reaksi korosi pada pipa distribusi air minum.

3) **Konduktivitas listrik**

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik. Karena arus listrik dikonduksikan melalui pergerakan ion dalam larutan, maka konduktivitas listrik juga memberikan indikasi konsentrasi ion atau *total dissolved solids* (TDS) di dalam air. Konduktivitas listrik air diukur dalam satuan mili Siemen per meter (mS/m). Satuan lain yang juga digunakan adalah $\mu S/cm$, yang secara numeris sama dengan $\mu mho/cm$. Konversi dari $\mu S/cm$ ke mS/m adalah sebagai berikut:

$$mS/m = \mu S/cm \times 0,1 \quad (2.2)$$

Nilai yang didapat dari konduktivitas listrik dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi TDS dalam mg/L melalui cara mengalikan konduktivitas listrik dengan faktor yang ditentukan untuk jenis air. Misalnya untuk air permukaan faktornya sekitar 6,5, tetapi nilai faktor tersebut bisa bervariasi lagi sesuai sumber airnya. Berdasarkan persyaratan kualitas air minum yang diatur

dalam PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, nilai maksimum TDS yang diperbolehkan adalah 500 mg/l.

4) Warna, rasa, dan bau

Secara fisik air harus terlihat jernih, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa (tawar). Ada dua macam warna pada air, yaitu *apparent color* dan *true color*. *Apparent color* ditimbulkan karena adanya benda-benda zat tersuspensi dari bahan organik, sedangkan *true color* adalah warna yang ditimbulkan oleh zat-zat anorganik. Pengukuran warna menggunakan skala TCU (*True Color Unit*). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017, nilai maksimal warna untuk air bersih 50 TCU, sedangkan untuk air minum 5 TCU.

Rasa dan bau biasanya terdapat bersama-sama dalam air. Untuk rasa, seperti rasa asin, manis, pahit, asam dan sebagainya tidak boleh terdapat dalam air yang dikonsumsi. Sama halnya dengan rasa, bau busuk, bau amis, dan sebagainya juga tidak boleh terdapat di dalam air bersih. Rasa dan bau air dapat disebabkan oleh berbagai zat, seperti disebabkan produk alga seperti geosmin dan 2-MIB (2-metil isoborneol), garam anorganik seperti NaCl, dan gas seperti H₂S.

5) Temperatur air

Temperatur merupakan syarat fisik terakhir yang harus dipenuhi air bersih. Temperatur sebaiknya sama dengan suhu udara ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) dan bila terjadi perbedaan maka toleransi batas yang diperbolehkan $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

E. Parameter Kualitas Mikrobiologis

Kualitas mikrobiologis air ditentukan oleh jenis dan jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam air. Berbagai mikroorganisme dapat hadir bahkan di perairan yang berkualitas baik. Sebagian besar mikroorganisme ini tidak berbahaya, tetapi jika air tercemar patogen maka bisa menimbulkan bahaya. Patogen adalah mikroorganisme penyebab penyakit seperti kolera, gastroenteritis, hepatitis, dan lain-lain. Parameter kualitas mikrobiologis air juga diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017 seperti dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E. coli	CFU/100ml	0

(Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2017)

Sulit untuk menentukan keberadaan semua organisme patogen yang berbeda. Oleh karena itu, organisme indikator tertentu digunakan untuk memberikan indikasi kemungkinan adanya patogen. Organisme indikator adalah jenis mikroorganisme yang terdapat dalam jumlah yang sangat besar di usus manusia maupun hewan berdarah panas. Kehadiran organisme ini dalam air berfungsi sebagai indikasi pencemaran air melalui kotoran manusia. Apabila organisme itu terdapat dalam kotoran manusia, maka air yang dikonsumsi tersebut tidak aman dan harus didisinfeksi sebelum digunakan.

Organisme indikator yang paling umum digunakan antara lain:

1. *Total coliform*

Adalah sekelompok bakteri yang paling sering digunakan sebagai organisme indikator untuk air minum. Meskipun semua jenis *total coliform* ditemukan dalam usus hewan termasuk manusia dan cocok dijadikan sebagai indikator pencemaran oleh kotoran manusia, kebanyakan dari *total coliform* juga banyak terdapat di lingkungan, termasuk di air biasa dan air limbah. Artinya *total coliform* tidak spesifik terhadap pencemaran yang disebabkan oleh kotoran manusia, tetapi juga dapat berasal dari sumber lain.

2. *Coliform feses* dan *Escherichia coli*

Coliform feses dan *Escherichia coli* adalah bagian dari kelompok *Total coliform*. Kedua organisme ini merupakan indikator yang lebih baik untuk polusi feses dibandingkan *total coliform*, tetapi *Coliform feses* dan *Escherichia coli* tidak memberikan perbedaan antara kontaminasi manusia dan hewan. Jumlah total kelompok ini juga jauh lebih rendah daripada *total coliform*.

BAB III

PROSES PENGOLAHAN AIR

A. Tinjauan Umum

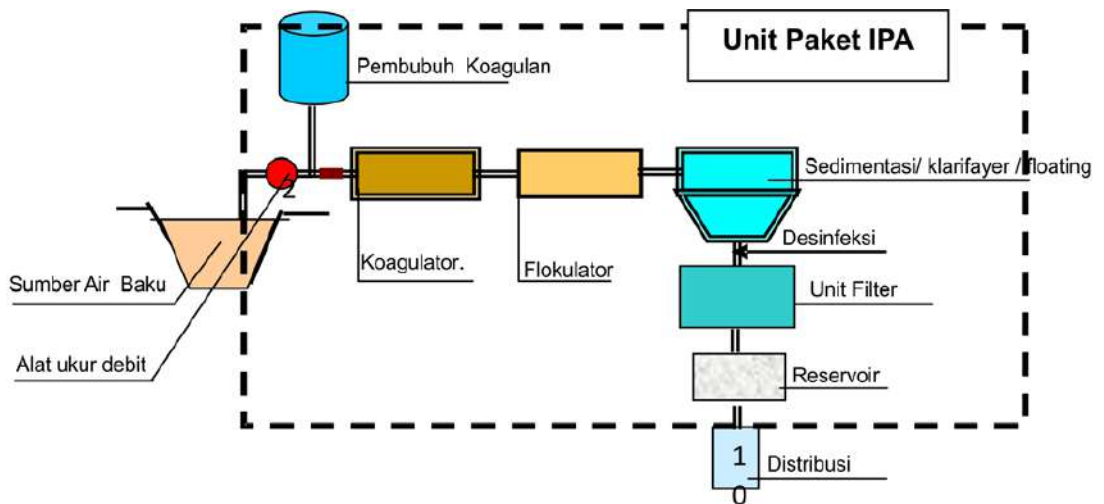
Tujuan utama dari instalasi pengolahan air adalah untuk menghasilkan air yang layak untuk penggunaan rumah tangga dengan biaya yang wajar. Banyak proses pengolahan (kadang-kadang disebut unit proses dan unit operasi) saling terintegrasi membentuk instalasi pengolahan untuk menghasilkan air dengan kualitas yang diinginkan. Pada beberapa literatur, terdapat perbedaan antara unit proses dan unit operasi, di mana istilah unit proses mengacu pada proses-proses di mana terjadi perubahan kimia (atau biologis) pada air, sedangkan unit operasi mengacu pada perubahan kualitas air yang melibatkan fenomena fisik. Dalam Buku ini, istilah proses *treatment* (perlakuan) digunakan untuk menggambarkan unit proses dan unit operasi yang terjadi. Faktor utama yang harus diperhitungkan saat mengembangkan rangkaian proses *treatment* meliputi:

- Kualitas sumber air (biasanya disebut kualitas air baku)
- Perubahan musim terhadap kualitas air baku
- *Output* kualitas air hasil *treatment* yang diperlukan
- Peraturan/regulasi terkait persyaratan air yang layak digunakan
- Faktor lain seperti ukuran *plant* (kapasitas *plant*), kondisi lokasi, ketersediaan tenaga kerja yang terampil, teknologi otomasi, kondisi ekonomi dan banyak faktor lainnya.

Tujuan memperhitungkan faktor-faktor di atas adalah sebagai langkah dalam menghilangkan unsur yang tidak diinginkan dari air baku, sehingga menghasilkan air olahan dengan kualitas yang dibutuhkan dan residu yang dihasilkan dari proses pengolahan tidak membahayakan serta mudah dibuang atau digunakan kembali.

Pemilihan proses yang akan diterapkan untuk pengolahan air didasarkan pada penilaian keseluruhan kualitas air baku. Dalam prakteknya, ini menandakan bahwa kualitas dan pengolahan air baku perlu dievaluasi dari segi parameter kualitas umum seperti kekeruhan, dan parameter kualitas khusus seperti adanya kandungan kadar besi yang tinggi dalam air baku. Kekeruhan pada air baku menentukan proses klarifikasi mana (koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi) yang akan digunakan, sedangkan keberadaan unsur tertentu pada air baku akan menentukan dimasukkannya proses yang lebih spesifik dalam rangkaian pengolahan. Pemilihan proses yang bergantung pada aspek kualitas air baku ini harus diberlakukan baik dalam kasus instalasi pengolahan skala besar maupun pengolahan skala kecil.

Unit paket instalasi pengolahan air (biasa disebut Unit Paket IPA) merupakan suatu unit instalasi pengolahan air yang dibuat dari bahan plat baja dalam bentuk yang kompak, dan dapat mengolah air melalui proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi. Pemilihan proses pengolahan berdasarkan pada kualitas dari air baku yang akan diolah. Komponen paket unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) sesuai diagram pada gambar 3.



Gambar 3. Unit Paket IPA

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

Penjelasan lebih lengkap terkait unit IPA dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Komponen Paket Unit Pengolahan Air

No	Komponen	Jenis
1	Komponen Utama	
	1) Unit pengambil air baku	1) Air permukaan, air tanah
	2) Pengukur aliran air	2) Ambang tajam, turbin, elektromagnetik dan ultrasonik
	3) Pembubuh larutan kimia	3) Pompa dosing
	4) Mikser	4) Mekanis, hidrolis, in line dan kompresor
	5) Koagulasi	5) Hidrolis, mekanis dan dinamik mikser
	6) Flokulasi	6) Hidrolis, mekanis dan dinamik mikser
	7) Sedimentasi	7) Gravitasi, floating,
	8) Filtrasi	8) Saringan pasir cepat
	9) Desinfeksi	9) Pompa dosing
2	Komponen Penunjang	
	1) Penampung	1) Reservoir
	2) Distribusi	2) Gravitasi, Pemompaan

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

Berdasarkan Modul Spesifikasi Unit Paket IPA yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian PU, persyaratan umum IPA yang berlaku di Indonesia yaitu:

- 1) Produk unit paket IPA harus mendapat pengesahan dari instansi/lembaga yang berwenang;
- 2) Unit paket IPA harus mampu mengalirkan air sebagai air minum, sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI No 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum;
- 3) Harus dipasang di atas tanah yang stabil;
- 4) Permukaan bagian luar dan dalam tidak cacat dan kedap air;
- 5) Pemilihan jenis proses pengolahan berdasarkan kualitas air baku terutam kekeruhan dan warna.

B. *Intake* Air Baku, Pompa, dan Pengukuran Aliran

Instalasi pengolahan air biasanya memiliki *intake* air baku, sistem pemompaan dan penyaluran, serta pengukuran aliran. Semua sistem ini diperlukan sebagai bagian dari rangkaian proses *treatment* secara keseluruhan.

Intake air baku dibangun untuk menarik air dari sungai, danau atau waduk pada ketinggian (*head*) air yang telah ditentukan. Struktur *intake* bisa sederhana, misalnya dengan pipa *intake* terendam, atau struktur yang rumit seperti menara yang terdiri dari gerbang *intake*, saringan, katup kontrol, dan pompa. Untuk *intake* yang terendam dan terapung biasanya digunakan dalam proyek pemasok air skala kecil. Di sisi lain, proyek skala besar menggunakan *intake* seperti menara yang

dapat menjadi bagian dari bendungan maupun struktur yang saling terpisah.

Seperti yang diatur dalam Modul Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian PU, kualitas air baku yang dapat diolah dengan IPA konstruksi baja adalah sebagai berikut:

- Kekeruhan, maksimum 600 NTU atau 400 mg/L SiO₂;
- Kandungan warna asli (sebagai *apparent colour*) tidak melebihi 100 Pt Co dan warna sementara mengikuti kekeruhan air baku;
- Unsur-unsur lainnya memenuhi syarat baku air baku Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air;
- Dalam hal air sungai daerah tertentu mempunyai kandungan warna, besi dan atau bahan organik melebihi syarat tersebut di atas tetapi kekeruhan rendah (<50 NTU) maka digunakan IPA sistem DAF (*Dissolved Air Flotation*) atau sistem lainnya yang dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 4. Intake pada SPAM IKK Kab. Bangka Tengah, Bangka Belitung

(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Stasiun pompa air baku umumnya terletak di struktur *intake*. Tujuannya adalah untuk mengangkat air dari sumbernya ke *head* yang cukup untuk membuat air dapat mengalir secara gravitasi ke *plant*. Sebagaimana diatur dalam SNI 6774:2008 “Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air”, kriteria pompa air baku antara lain:

a) Kriteria kapasitas dan cadangan pompa air baku harus memenuhi ketentuan berikut :

- 1) Kapasitas pompa air baku (10-20) % lebih besar dan kapasitas rencana unit paket instalasi pengolahan air;
- 2) Pompa cadangan minimal 1buah;
- 3) Masing-masing pompa cadangan harus mempunyai jenis, tipe, dan kapasitas yang sama.

b) Jenis dan tipe pompa air baku yaitu:

1) Jenis sentrifugal dari jenis aliran *axial* atau aliran campuran, tipe tidak mudah tersumbat (*non clogging*) dengan ketentuan sebagai berikut:

- Memperhitungkan jarak dari sumbu pompa terhadap muka air terendah harus lebih kecil dari NPSH yang tersedia (*Net Positif Suction Head*);
- Pompa air baku sampai tekanan 30 m harus mempunyai *impeller* tunggal (*single stage*);
- Tumpuan putaran pompa menggunakan pelumas.

2) Jenis pompa benam (*submersible pump*) dengan persyaratan:

- Dilengkapi dengan sistem *guiding bar* dan pinstalasi pengolahan air untuk *discharge* lengkap dengan *fitting* dan *bend* 90° medium untuk sambungan ke pinstalasi pengolahan air tranmisi air baku;

- Menyediakan kabel khusus pompa benam yang sesuai dengan uluran dan daya motor pompa terpasang. Bila memerlukan penyambungan dalam air, harus diberi isolasi khusus;
- Dilakukan pengamanan pompa sekurang-kurangnya pengamanan terhadap kelembaban ruang dalam pompa dan suhu tinggi.



Gambar 5. Pipa transmisi SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali
(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Sistem penyaluran (distribusi) air baku dirancang untuk mengalirkan air dalam jumlah besar dari *intake* ke instalasi pengolahan. Saluran penghubung dapat berupa kanal, saluran, pipa bertekanan, atau kombinasi dari semuanya.



Gambar 6. Flow meter SPAM IKK, Kab. Majene, Sulawesi Barat
(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Unit paket instalasi pengolahan air dilengkapi alat ukur aliran untuk mengukur debit air baku dan air minum, yang dapat berupa water meter; V-notch; flowmeter; dan floating meter. Pengukuran aliran air sangat penting dilakukan dalam pengoperasian, pengendalian proses, pengendalian kehilangan air, penagihan dan pencatatan dalam distribusi air bersih. Perangkat pengukur aliran dapat ditempatkan di saluran air baku, di jaringan distribusi setelah pemompaan, atau di lokasi lain di dalam *plant*. Seringkali lebih dari satu perangkat pengukur aliran mungkin diperlukan di berbagai unit *treatment*. Aliran air yang melalui pipa bertekanan diukur dengan *head loss* mekanis atau diferensial, seperti venturi meter, aliran nosel, atau orifice. Sedangkan aliran air yang melalui saluran terbuka diukur dengan dibendung atau menggunakan venturi tipe *flume*, seperti Parshall *flume*.

C. Unit Operasi dan Proses

Semua sumber air baku tentunya masih mengandung zat anorganik dan organik yang harus dihilangkan selama pengolahan air untuk menghasilkan air yang layak untuk penggunaan rumah tangga. Serangkaian proses dalam pengolahan air tentunya bertujuan untuk menghilangkan zat berbahaya yang terkandung dalam air dengan cara yang paling aman dan juga hemat biaya. Untuk mencapai tujuan ini, berbagai proses perlakuan fisika maupun kimia dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi konstituen yang tidak diinginkan dari air yang diproduksi.

Pemilihan proses pengolahan yang tepat dan efektif serta desain yang tepat dari masing-masing proses dan kombinasi proses sangat penting untuk memastikan keberhasilan kinerja instalasi pengolahan air. Keputusan pemilihan proses dan desain yang dibuat selama tahap

desain dapat berdampak besar pada proses dan kinerja *plant* serta total biaya proyek. Sedangkan kesalahan dalam pemilihan dan desain proses dapat berdampak besar pada kualitas akhir air yang diproduksi, dan mungkin memerlukan banyak perubahan selama operasi untuk memenuhi standar kualitas air olahan. Ringkasan berbagai unit proses yang umumnya digunakan untuk mengolah air dari sumber yang berbeda diberikan pada tabel 6.

Tabel 6. Unit Proses dalam Pengolahan Air

Unit Proses	Deskripsi dan Aplikasi
<i>Trash rack</i>	Terletak di <i>intake gate</i> untuk menghilangkan puing-puing atau kotoran yang mengambang.
<i>Coarse screen</i>	Saringan yang terletak di <i>intake gate</i> . Ukuran celah pada <i>coarse screen</i> biasanya berkisar antara 6-150 mm. <i>Coarse screen</i> digunakan untuk menyingkirkan padatan kasar yang terdapat pada air seperti kayu, ranting, papan, dan padatan besar/kasar lainnya.
<i>Microstrainer</i>	Menghilangkan alga dan plankton dari air baku.
<i>Aeration</i>	Mengoksidasi bahan organik dan gas yang mudah menguap penyebab munculnya rasa dan bau serta mengoksidasi unsur besi dan mangan di dalam air. Sistem aerasi terdiri dari <i>gravity aerator</i> , <i>spray aerator</i> , <i>diffuser</i> dan <i>mechanical aerator</i> .
<i>Mixing</i>	Suatu aktivitas operasi pencampuran dua atau lebih zat agar diperoleh hasil campuran yang homogen.
<i>Pre-oxidation</i>	Pengaplikasian zat pengoksidasi seperti klorin, kalium permanganat, dan ozon dalam air baku dan unit pengolahan lainnya untuk membatasi pertumbuhan mikrobiologi dan untuk mengoksidasi

	senyawa penyebab rasa, bau dan warna serta senyawa besi dan mangan.
<i>Coagulation</i>	Penambahan dan pencampuran cepat (<i>rapid mixing</i>) koagulan dengan air untuk mendestabilisasi partikel dan koloid dan membentuk flok kecil/inti gumpalan (presipitat). Proses koagulasi dapat berlangsung bila ada pengadukan.
<i>Flocculation</i>	Proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok berukuran lebih besar yang mengendap dengan cepat. Proses flokulasi dapat berlangsung bila ada pengadukan.
<i>Sedimentation</i>	Pemisahan yang terjadi secara gravitasi dari padatan tersuspensi atau flok yang dihasilkan dalam proses pengolahan. Proses ini terjadi setelah koagulasi-flokulasi dan presipitasi kimia.
<i>Sand filtration</i>	Proses menghilangkan flok dan partikulat dengan penyaringan melalui media filtrasi yang terdiri dari beberapa lapisan pasir dengan berbagai ukuran dan berat jenis, sehingga air yang dihasilkan menjadi lebih jernih.
<i>Slow sand filtration</i>	Proses menghilangkan materi koloid, mikro-organisme dan warna dengan cara <i>slow rate filtration</i> melalui lapisan pasir di mana lapisan koloid dan mikroorganisme dibiarkan terbentuk.
<i>Chemical precipitation</i>	Penambahan bahan kimia dalam air yang bertujuan mengendapkan padatan terlarut dengan kelarutan rendah menjadi bentuk yang tidak larut. Proses menghilangkan kesadahan, unsur besi, mangan, dan logam berat bisa dilakukan dengan <i>chemical</i>

	<i>precipitation.</i>
<i>Recarbonation</i>	Penambahan karbon dioksida untuk mengurangi pH air setelah penambahan kapur pada proses koagulasi.
<i>Activated carbon adsorption</i>	Menghilangkan zat organik terlarut seperti senyawa penyebab rasa dan bau dan senyawa terklorinasi. Proses ini juga menghilangkan banyak logam yang terkandung dalam air. Ini digunakan sebagai <i>Powdered Activated Carbon</i> (PAC) pada bagian <i>intake</i> atau sebagai <i>Granular Activated Carbon</i> (GAC) setelah filtrasi.
<i>Disinfection</i>	Menghancurkan organisme penyebab penyakit dalam air. Desinfeksi dapat menggunakan klorin, tetapi radiasi ultraviolet dan bahan kimia pengoksidasi lainnya seperti ozon dan klorin dioksida juga dapat digunakan.
<i>Chloramination</i>	Penggunaan amonia yang mengubah sisa klorin bebas menjadi kloramin. Dalam bentuk ini, klorin kurang reaktif, bertahan lebih lama dan memiliki kecenderungan lebih kecil untuk bergabung dengan senyawa organik, sehingga membatasi rasa dan bau dan pembentukan trihalomethane (THM).
<i>Fluoridation</i>	Penambahan <i>sodium fluoride</i> , <i>sodium silicofluoride</i> atau <i>hydrofluosilicic acid</i> untuk menghasilkan air yang memiliki kadar fluoride yang optimal untuk pencegahan karies pada gigi.
<i>Desalination</i>	Penghilangan garam terlarut dari pasokan air. Desalinasi dapat dijalankan dengan proses membran, pertukaran ion dan distilasi.

<i>Reverse osmosis</i> (RO)	Teknologi pemurnian air yang menggunakan membran semipermeabel untuk menghilangkan ion, molekul, dan partikel yang lebih besar dari air minum. Membran ini tidak membiarkan molekul besar atau ion melalui pori-pori (lubang), tetapi memungkinkan komponen yang lebih kecil dari solusi (seperti molekul pelarut) untuk lolos secara bebas. RO juga digunakan untuk menghilangkan nitrat dan arsenik.
<i>Nanofiltration</i> (NF)	Membran yang tidak sepadat RO, digunakan untuk menghilangkan ion divalen dan mikro-organisme dari air di bawah tekanan.
<i>Ultrafiltration</i> (UF)	Penghilangan materi koloid dan beberapa mikro-organisme dari air oleh membran di bawah tekanan.
<i>Microfiltration</i> (MF)	Penghilangan semua partikulat dan beberapa materi koloid.
<i>Ion exchange</i> (IX)	Kation dan anion dalam air yang dihilangkan secara selektif ketika air meresap melalui lapisan yang mengandung resin penukar kation dan anion. Tempat pertukaran ion harus diregenerasi ketika kapasitas pertukaran ion tersebut habis. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan kekerasan, nitrat dan amonia.
<i>Electrodialysis</i> (ED/EDR)	Sebuah potensial listrik yang digunakan untuk menghilangkan kation dan anion melalui <i>ion-selective membranes</i> untuk menghasilkan air desalinasi dan air garam.
<i>Distillation</i>	Proses yang umumnya digunakan untuk desalinasi air laut.

(Sumber : Schutte, F. 2016)

Unit proses seperti yang tertuang dalam tabel 6 dapat digabungkan menjadi kombinasi dari beberapa proses untuk mencapai level pengolahan yang diinginkan guna memenuhi kualitas air yang dibutuhkan. Level pengolahan dapat berkisar dari pengolahan konvensional untuk menghilangkan kekeruhan, rasa, bau, hingga sampai ke proses mendisinfeksi air untuk menghilangkan kandungan mineral (demineralisasi) air. Pertimbangan berikut umumnya mempengaruhi pemilihan rangkaian proses *treatment*, antara lain:

- Kemampuan kombinasi proses untuk memenuhi tujuan kualitas akhir air, dengan mempertimbangkan perubahan musim dan perubahan jangka panjang dalam kualitas air baku.
- Topografi dan kondisi lokasi, fasilitas pengolahan yang ada, luas lahan yang tersedia dan persyaratan hidrolik.

D. Tinjauan Proses Pengolahan Air Konvensional

Istilah pengolahan air konvensional mengacu pada pengolahan air dari sumber air permukaan dengan serangkaian proses yang bertujuan untuk menghilangkan sejumlah zat tersuspensi dan koloid dari air, mendisinfeksi air, dan menstabilkan air secara kimiawi. Pengolahan konvensional air untuk keperluan rumah tangga melibatkan sejumlah langkah pengolahan untuk mencapai tujuan berikut:

- Eliminasi zat tersuspensi dan koloid ke level yang aman dengan cara koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan penyaringan pasir.
- Disinfeksi untuk menghasilkan air yang aman untuk diminum.
- Stabilisasi kimia pada air untuk mencegah korosi pada perpipaan, gangguan pada pipa dan struktur beton atau pembentukan kerak dalam sistem dan perlengkapan distribusi air.

Metode pengolahan konvensional untuk menghilangkan zat tersuspensi dan koloid dari air berupa koagulasi kimia pada partikel koloid kecil dan flokulasi partikel kecil untuk membentuk flok atau agregat yang lebih besar, yang kemudian diikuti dengan sedimentasi dan penyaringan pasir. Ketika air mengandung sejumlah besar zat tersuspensi, partikel tersuspensi yang lebih besar seperti partikel pasir dapat dihilangkan dengan cara pengendapan tanpa koagulasi dan flokulasi. Metode lain yang dapat digunakan yaitu filtrasi pasir lambat, flotasi, mikro-filtrasi dan ultra-filtrasi.

Pemilihan kombinasi proses terbaik dalam pengolahan air dari sumber tertentu tergantung pada sejumlah faktor. Faktor-faktor ini meliputi:

- jumlah padatan tersuspensi;
- kekeruhan air;
- sifat zat tersuspensi;
- sifat kimia air (alkalinitas dan pH);
- volume air yang akan diolah, serta
- ketersediaan fasilitas, operator dan supervisor yang terlatih.

Ada beberapa tahapan penting dalam proses pengolahan air yang sifatnya konvensional. Tahapan-tahapan tersebut antara lain pengendapan, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, flotasi, penyaringan pasir, disinfeksi, stabilisasi air, serta pengolahan dan pembuangan lumpur.

1. Pengendapan

Sebagai langkah *pre-treatment*, pengendapan air sederhana sering digunakan untuk menghilangkan partikel tersuspensi berukuran besar tanpa koagulasi-flokulasi.



Gambar 7. Bak prasedimentasi SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali
(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Pengendapan mensyaratkan bahwa air tetap tergenang untuk jangka waktu tertentu agar partikel yang lebih besar dapat mengendap di dasar tangki atau *reservoir*. Setelah proses pengendapan partikel selesai, air jernih yang dihasilkan dapat dituang dari wadah. Pengendapan dapat dilakukan sebagai proses *batch* (mengisi tangki dengan air, memberikan waktu yang cukup untuk pengendapan, dan penuangan air jernih) atau sebagai proses berkelanjutan. Dalam proses berkelanjutan, air mengalir mengisi wadah penampung air jernih dengan kecepatan lambat sementara proses pengendapan juga berjalan di *reservoir*.

Pengendapan sebagian besar masih digunakan sebagai langkah *pre-treatment* pada pekerjaan pengolahan air ketika air baku mengandung bahan tersuspensi yang relatif banyak. Material tersuspensi dipindahkan ke dalam bendungan penahan yang besar dimana air mengalir dengan kecepatan lambat untuk memberikan waktu yang cukup bagi partikel untuk mengendap. Air jernih kemudian mengalir ke bagian koagulasi jika diperlukan pengolahan lebih lanjut. Hasil endapan (sedimen) harus

dikeluarkan dari bendungan secara berkala untuk mencegah bendungan dari pendangkalan.

2. Koagulasi

Koagulasi adalah proses di mana partikel koloid dalam air yang tidak stabil (sifat partikel koloid yang berubah) membentuk flok melalui proses flokulasi yang dapat dengan mudah dipisahkan dari air.



Gambar 8. Koagulator SPAM Regional Kab. Gianyar, Bali

(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Perencanaan unit koagulasi diatur dalam SNI 6774:2008 “Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air”. Kriteria perencanaan tersebut dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Kriteria Perencanaan Unit Koagulasi (Pengaduk Cepat)

Unit	Kriteria
Pengaduk cepat <ul style="list-style-type: none"> • Tipe 	Hidrolis: <ul style="list-style-type: none"> - terjunan - saluran bersekat - dalam pinstalasi pengolahan air bersekat Mekanis: <ul style="list-style-type: none"> - Bilah (Blade), pedal (padle) - Kinstalasi pengolahan aairs - Flotasi
<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengadukan (detik) • Nilai G/detik 	1 – 5 > 750

(Sumber : SNI 6774:2008)

Destabilisasi pada proses koagulasi dicapai melalui penambahan bahan kimia (koagulan) ke dalam air. Berbagai bahan kimia yang paling umum digunakan sebagai koagulan antara lain:

- Aluminium sulfat, juga dikenal sebagai tawas [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]. Tawas dilarutkan dalam air dan ion aluminium [Al^{3+}] yang terbentuk, memiliki kapasitas untuk menetralkan muatan negatif yang dibawa oleh partikel koloid dan yang berkontribusi pada stabilitasnya. Ion aluminium terhidrolisis dan dalam prosesnya membentuk aluminium hidroksida [$\text{Al}(\text{OH})_3$] yang mengendap sebagai padatan. Selama flokulasi, ketika air diaduk perlahan, flok aluminium hidroksida menjerat partikel koloid kecil. Flok mengendap dengan mudah dan sebagian besar dapat dipindahkan ke tangki sedimentasi. Karena pada konsentrasi tinggi aluminium dapat berbahaya, aluminium harus dibiarkan mengendap secara sempurna sebagai hidroksida. Pengendapan sempurna merupakan fungsi dari pH air dan oleh karena itu pH harus dikontrol secara ketat antara 6,0 dan 7,4.
- *Ferric chloride* [FeCl_3] juga biasa digunakan sebagai koagulan. Ketika ditambahkan ke air, Fe mengendap sebagai besi hidroksida [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] dan flok hidroksida menjerat partikel koloid dengan cara yang sama seperti flok aluminium hidroksida. Pengaruh pH yang optimum untuk pengendapan Fe tidak serumit dengan aluminium dan nilai pH antara 5 dan 8 memberikan pengendapan yang baik.

- Kalsium hidroksida [Ca(OH)₂] juga digunakan sebagai koagulan, tetapi kerjanya berbeda dengan dua koagulan sebelumnya. Dalam bahasa Inggris, kalsium hidroksida juga dinamakan *slaked lime*, atau *hydrated lime* (kapur yang di-airkan) (Kencana, 2020). Ketika kapur ditambahkan ke air, pH mengalami peningkatan. Ini menghasilkan pembentukan ion karbonat dari alkalinitas alami di dalam air. Peningkatan konsentrasi karbonat bersama dengan kalsium yang ditambahkan dalam kapur menghasilkan pengendapan kalsium karbonat [CaCO₃]. Kristal kalsium karbonat juga menjerat partikel koloid dan membantu menghilangkannya dari air. Ketika kapur digunakan sebagai koagulan, pH harus diturunkan untuk menstabilkan air secara kimiawi. Karbon dioksida biasanya digunakan untuk tujuan ini.
- Koagulan polimer, termasuk DADMAC (*diallyl dimethyl ammonium chloride*) dan *polyamines* yang membentuk flok putih atau coklat bila ditambahkan ke dalam air.
- Polielektrolit banyak digunakan untuk membantu proses flokulasi dan sering disebut sebagai alat bantu flokulasi. Mereka adalah senyawa organik polimer yang terdiri dari rantai polimer panjang yang bertindak untuk menjerat partikel di dalam air.
- Koagulan lain yang juga terkadang digunakan dalam pengolahan air. Ini termasuk:
 - i. **Polimer aluminium**, seperti poli-aluminium klorida yang menyediakan flokulasi cepat, penghilangan zat-zat organik

yang efisien, dan lebih sedikit lumpur daripada tawas dalam kondisi tertentu, tetapi dengan biaya lebih tinggi.

- ii. **Silika aktif**, kadang digunakan sebagai flokulan bersama-sama dengan tawas atau kapur terhidrasi sebagai koagulan.
- iii. **Bentonit** dan/atau **kaolin**, terkadang ditambahkan ke air ketika air yang akan diflokulasi mengandung terlalu sedikit partikel untuk flokulasi yang lebih efektif.

3. Flokulasi

Flokulasi selalu mengikuti proses koagulasi (dan sering dianggap sebagai bagian dari satu proses: koagulasi-flokulasi). Tujuan dari flokulasi adalah untuk menyebabkan partikel koloid yang tidak stabil bertumbukan satu sama lain dan membentuk agregat bersama endapan hasil koagulan agar dapat dengan mudah dihilangkan dengan cara sedimentasi atau flotasi. Proses flokulasi berlangsung dengan pengadukan lambat agar campuran dapat membentuk flok-flok yang berukuran lebih besar dan dapat mengendap dengan cepat.



Gambar 9. Bak flokulasi SPAM IKK Kab. Gianyar, Bali
(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Kriteria perencanaan unit flokulasi (pengaduk lambat) dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Kriteria Perencanaan Unit Flokulasi (Pengaduk Lambat)

Kriteria umum	Floklulator hidrolis	Floklulator mekanis		Floklulator clarifier
		sumbu horizontal dengan pedal	Sumbu vertikal dengan bilah	
G (gradien kecepatan) 1/detik	60 (menurun) – 5	60 (menurun) – 10	70 (menurun) – 10	100 – 10
Waktu tinggal (menit)	30 – 45	30 – 40	20 – 40	20 – 100
Tahap flokulasi(buah)	6 – 10	3 – 6	2 – 4	1
Pengendalian energi	Bukaan pintu/ sekat	Kecepatan putaran	Kecepatan putaran	Kecepatan aliran air
Kecepatan aliran max.(m/det)	0,9	0,9	1,8 – 2,7	1,5 – 0,5
Luas bilah/pedal dibandingkan luas bak (%)	--	5 – 20	0,1 – 0,2	-
Kecepatan perputaran sumbu (rpm)	--	1 – 5	8 – 25	-
Tinggi (m)				2 – 4 *

Keterangan : (*) termasuk ruang *sludge blanket*
(Sumber : SNI 6774:2008)

4. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses di mana agregat yang telah terbentuk selama koagulasi - flokulasi dibiarkan mengendap dari air. Flok terkumpul sebagai lumpur di bagian bawah tangki sedimentasi dimana lumpur tersebut harus dibuang secara teratur. Flok mengendap di dasar tangki dan air bersih keluar dari tangki sedimentasi melalui bak pengumpul di bagian atas tangki.



Gambar 10. Bak sedimentasi SPAM IKK Kab. Madiun, Jawa Timur

(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Tangki sedimentasi mempunyai berbagai desain, termasuk tangki persegi panjang besar di mana air masuk ke satu sisi dan keluar di sisi lainnya. Jenis ini biasanya digunakan pada pekerjaan pengolahan air konvensional skala besar. Tangki melingkar dengan dasar datar atau berbentuk kerucut juga digunakan, terutama pada *plant* yang lebih kecil. Air yang terflokulasi memasuki tangki di bagian pusat distribusi dan air yang dijernihkan meninggalkan tangki di bak pengumpul pada sekeliling tangki.

Proses sedimentasi cocok untuk menghilangkan flok yang terbentuk dari partikel lempung yang mudah mengendap. Namun, beberapa flok tertentu relatif ringan dan tidak mudah mengendap. Flok ringan terbentuk ketika alga atau bahan organik terflokulasi. Oleh karena itu, proses seperti flotasi harus digunakan untuk menghilangkannya.

Flok yang mengendap di tangki sedimentasi terkumpul di bagian dasar tangki sebagai lumpur. Lumpur tersebut harus dibuang secara teratur untuk mencegah akumulasi di bagian dasar

tangki. Jika lumpur tidak diambil secara teratur sesuai dengan jadwal operasi, kualitas air yang dijernihkan dapat memburuk karena lumpur dapat mengendap kembali. Kriteria unit sedimentasi dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Kriteria Perencanaan Unit Sedimentasi

Kriteria umum	Bak persegi (aliran horizontal)	Bak persegi aliran vertikal (menggunakan pelat/tabung pengendap)	Bak bundar – (aliran vertikal – radial)	Bak bundar – (kontak padatan)	Clarifier
Beban permukaan ($m^3/m^2/jam$)	0,8 – 2,5	3,8 – 7,5*	1,3 – 1,9	2 – 3	0,5 – 1,5
Kedalaman (m)	3 – 6	3 – 6	3 – 5	3 – 6	0,5 – 1,0
Waktu tinggal (jam)	1,5 – 3	0,07**)	1 – 3	1 – 2	2 – 2,5
Lebar / panjang	> 1/5	-	-	-	-
Beban pelimpah ($m^3/m/jam$)	< 11	< 11	3,8 – 15	7 – 15	7,2 – 10
Bilangan Reynold	< 2000	< 2000	-	-	< 2000
Kecepatan pada pelat/tabung pengendap (m/menit)	-	max 0,15	-	-	-
Bilangan Fraude	> 10^{-5}	> 10^{-5}	-	-	> 10^{-5}
Kecepatan vertikal (cm/menit)	-	-	-	< 1	< 1
Sirkulasi Lumpur	-	-	-	3 – 5% dari input	-
Kemiringan dasar bak (tanpa scraper)	$45^\circ - 60^\circ$	$45^\circ - 60^\circ$	$45^\circ - 60^\circ$	> 60°	$45^\circ - 60^\circ$
Periode antar pengurasan lumpur (jam)	12 – 24	8 – 24	12 – 24	Kontinyu	12 – 24 ***
Kemiringan tube/plate	$30^\circ / 60^\circ$	$30^\circ / 60^\circ$	$30^\circ / 60^\circ$	$30^\circ / 60^\circ$	$30^\circ / 60^\circ$

Catatan: *) luas bak yang tertutupi oleh pelat/tabung pengendap

***) waktu retensi pada pelat/tabung pengendap

***) pembuangan lumpur sebagian

(Sumber : SNI 6774:2008)

Berdasarkan Modul Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air (Kementerian PU), unit sedimentasi biasanya mempunyai 2 bentuk dinding yaitu:

1) Dinding rata

Pelat IPA dengan dinding rata mempunyai ketebalan dinding yang berbeda dan tergantung pada kapasitas IPA, seperti pada tabel 10.

Tabel 10. Tebal Pelat IPA Dinding Rata, *Corrugated* dan Kapasitas IPA

No	Kapasitas IPA (L/detik)	Ketebalan pelat IPA dinding rata (mm)	Ketebalan pelat IPA dinding <i>corrugated</i> (mm)
1	1	4	5
2	5	6	5
3	10	6	5
4	20	8	5
5	50	minimal 10	5

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

2) Dinding *corrugated*

Pelat IPA dengan dinding *corrugated* mempunyai ketebalan dinding yang sama untuk kapasitas IPA 1 L/detik-50 L/detik. Sedangkan tinggi bebas di unit sedimentasi pada setiap kapasitas IPA ditentukan pada tabel 11.

Tabel 11. Tinggi bebas di unit sedimentasi dan kapasitas IPA

No	Kapasitas IPA (L/detik)	Tinggi bebas di unit sedimentasi (cm)
1	1	4
2	5	6
3	10	6
4	20	8
5	50	minimal 10

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

Bentuk pengendap pada unit sedimentasi juga ada 2 jenis yaitu:

1) Bentuk pelat

Tinggi tegak pelat pengendapan disesuaikan dengan kapasitas IPA dan bentuk dinding rata/*corrugated*, sesuai tabel 12. Lebar pelat disesuaikan dengan lebar bak pengendap, jarak antar pelat dan kemiringan sesuai dengan SNI 6774:2008, Tata cara perencanaan paket unit IPA.

Tabel 12. Tinggi Tegak Pelat Pengendap dan Kapasitas IPA

No	Kapasitas IPA (L/detik)	Tinggi tegak pelat pengendap dinding rata (cm)	Tinggi tegak pelat pengendapan dinding <i>corrugated</i> (cm)
1	1	60	80
2	5	80	80
3	10	80	80
4	20	90	80
5	50	100	80

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

2) Bentuk tabung pengendap (*tube settler*)

Pada unit sedimentasi dapat juga digunakan *tube settler* dengan ketentuan lebar *tube* disesuaikan dengan lebar bak pengendap, jarak antar pelat dan kemiringan sesuai dengan SNI 6774:2008. Bentuk *tube settler* yang digunakan segi-enam, segi-delapan dan $N_{Re} < 2.000$. Diameter *tube settler* tergantung pada besarnya kapasitas IPA seperti pada tabel 13.

Tabel 13. Diameter *Tube Settler* dan Kapasitas IPA

No	Kapasitas IPA (L/detik)	Diameter <i>tube settler</i> (cm)
1	1 - 10	2,5
2	20	3
3	50	3,5

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

5. Flotasi

Proses flotasi adalah proses pemisahan material berharga dari pengotornya dengan menggunakan sifat permukaan hidrofobik dan hidrophilik material (Kelly & Spottiswood, 1982). Pada proses flotasi umumnya gelembung udara dilepas pada bagian bawah sel flotasi dan partikel dilepas pada bagian atas sel flotasi. Gaya gravitasi dan gaya apung menyebabkan partikel bergerak ke bawah dan gelembung udara bergerak naik sehingga pada suatu tempat terjadi interaksi antara gelembung dengan partikel. Hasil interaksi ini menyebabkan partikel yang memiliki sifat hidrofobik menempel pada gelembung udara, membentuk agregat partikel gelembung dan terbawa ke bagian atas sel flotasi terpisah dari partikel pengotornya yang tertinggal di air karena memiliki sifat hidrophilik (Kawatra, 2011). Kriteria perencanaan unit flotasi dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Kriteria Perencanaan Unit Flotasi

Proses	Aliran udara (N.L/m ³ air)	Ukuran gelembung	Input tenaga (Watt jam/m ³)	Waktu detensi (menit)	Beban hidrolis permukaan (m/jam)
Flotasi untuk pemisahan lemak	100 – 400	2 – 5 mm	5 – 10	5 – 15	10 – 30
Flotasi mekanik	10.000	0,2 – 2 mm	60 – 120	4 – 16	-
<i>Disolved Air Flotation</i>	15 – 50	40 – 70 μ m	40 – 80	20 – 40 bersamaan dengan flokulasi	3 – 10

(Sumber : Modul Spesifikasi Unit Paket IPA, 2014)

Aspek-aspek penting dalam proses flotasi meliputi aspek *engineering*, fisik dan kimia. Aspek *engineering* meliputi desain sistem flotasi, pembuatan gelembung dan sistem pelepasan partikel. Aspek fisik meliputi geometri dan dinamika partikel dan

gelembung. Sedangkan aspek kimia meliputi mekanisme penempelan partikel pada permukaan gelembung dimana melibatkan reagent untuk mengubah sifat permukaan partikel (Warjito, *et al.* 2015).



Gambar 11. Dissolved Air Flotation

(Sumber : <https://waterpedia.co.id/5043-2proses-flotasi-pengapungan/>)

Baik sedimentasi maupun flotasi sama-sama bertujuan menghilangkan sebagian besar flok dari air. Namun, tidak menutup kemungkinan sejumlah kecil flok pecah atau bahan koloid yang bersifat non-flokulasi tetap berada di dalam air. Bahan ini harus dihilangkan untuk memastikan kekeruhan yang cukup rendah di dalam air. Tingkat kekeruhan yang cukup rendah diperlukan untuk desinfeksi air yang efektif dan untuk menghilangkan semua kekeruhan dari air. Pemurnian dari kekeruhan ke tingkat yang lebih rendah dicapai dengan cara penyaringan pasir.

6. Penyaringan pasir (*sand filtration*)

Penyaringan pasir biasanya mengikuti sedimentasi atau flotasi sebagai langkah 'pemolesan' terakhir dalam pengolahan air konvensional. Penyaringan pasir konvensional juga disebut penyaringan pasir cepat untuk membedakannya dengan penyaringan pasir lambat. Penyaringan pasir adalah proses sederhana di mana air melalui saringan berupa lapisan pasir dalam wadah yang dibuat khusus. Dalam proses filtrasi, partikel flok kecil yang tersisa dihilangkan oleh butiran pasir dan tertahan di lapisan pasir, sedangkan air bersih mengalir keluar dari dasar lapisan pasir. Ada dua jenis proses penyaringan pasir, yaitu penyaringan pasir gravitasi cepat dan penyaringan pasir lambat.



Gambar 12. Instalasi Saringan Pasir
(Sumber : Modul Instalasi Saringan Pasir Lambat, 2014)

Penyaringan pasir cepat digunakan dalam pengolahan air konvensional setelah proses sedimentasi atau flotasi. Penampang filter terbuka ke atmosfer dan aliran turun ke bawah melalui filter dengan bantuan gravitasi. Aliran biasanya turun dengan

kecepatan sekitar 5 m/jam dan filter dibersihkan dengan pencucian balik (*backwash*) pada interval yang bervariasi dari 12 hingga 72 jam. Beberapa saringan pasir tidak terbuka ke atmosfer, tetapi juga ada yang beroperasi di bawah tekanan. Jenis filter ini sering digunakan di pabrik pengolahan air terpadu.

Selama filtrasi, padatan dipisahkan dari air dan menumpuk di dalam rongga serta di permukaan atas media filter. Media filter biasanya terdiri dari lapisan pasir bergradasi dengan ukuran sekitar 0,7 mm dan kedalaman sekitar 0,8 m. Media filter ganda adalah variasi dari filter pasir satu lapis. Dalam filter ini lapisan antrasit ditempatkan di atas lapisan pasir. Ini memiliki keuntungan untuk membuat umur filter dapat menjadi lebih lama.

Fakta bahwa flok tertahan di dasar filter menandakan bahwa filter akan menjadi jenuh atau tersumbat dengan flok yang tertahan setelah melalui beberapa tahapan. Pasir tersebut harus dibersihkan dengan cara pencucian balik untuk menghilangkan flok yang terakumulasi, sehingga dapat mengembalikan kapasitas penyaringan pasir. Frekuensi pencucian balik ditentukan oleh jumlah flok yang harus dihilangkan. Pencucian balik dapat dikontrol berdasarkan waktu atau berdasarkan penurunan tekanan pada saat melintasi filter. Bahkan, pencucian balik dapat diprogram secara otomatis dengan menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.

Kriteria perencanaan unit filtrasi (saringan cepat) dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Kriteria Perencanaan Unit Filtrasi (Saringan Cepat)

No	Unit	Jenis Saringan		
		Saringan Biasa (Gravitasi)	Saringan dg Pencucian Antar Saringan	Saringan Bertekanan
1.	Jumlah bak saringan	$N = 12 Q^{0,5 *}$	minimum 5 bak	-
2.	Kecepatan penyaringan (m/jam)	6 – 11	6 – 11	12 – 33
3.	Pencucian: <ul style="list-style-type: none"> • Sistem pencucian • Kecepatan (m/jam) • lama pencucian (menit) • periode antara dua pencucian (jam) • ekspansi (%) 	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i> 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i> 36 – 50 10 – 15 18 – 24 30 – 50	Tanpa/dengan blower & atau <i>surface wash</i> 72 – 198 - - 30 – 50
4.	Media pasir: <ul style="list-style-type: none"> • tebal (mm) • singel media • media ganda • Ukuran efektif, ES (mm) • Koefisien keseragaman, UC • Berat jenis (kg/dm³) • Porositas • Kadar SiO₂ 	300 – 700 600 – 700 300 -600 0,3 – 0,7 1,2 – 1,4 2,5 – 2,65 0,4 > 95 %	300 – 700 600 – 700 300 – 600 0,3 – 0,7 1,2 – 1,4 2,5 – 2,65 0,4 > 95 %	300 – 700 600 – 700 300 -600 - 1,2 – 1,4 2,5 – 2,65 0,4 > 95 %
5.	Media antransit: <ul style="list-style-type: none"> • tebal (mm) • ES (mm) • UC • berat jenis (kg/dm³) • porositas 	400 – 500 1,2 – 1,8 1,5 1,35 0,5	400 – 500 1,2 – 1,8 1,5 1,35 0,5	400 – 500 1,2 – 1,8 1,5 1,35 0,5
6.	Filter botom/dasar saringan 1) Lapisan penyangga dari atas ke bawah <ul style="list-style-type: none"> • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) • Kedalaman (mm) Ukuran butir (mm) 2) Filter Nozel <ul style="list-style-type: none"> • Lebar Slot nozel (mm) • Prosentase luas slot nozel terhadap luas filter (%) 	80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15 80 – 150 15 – 30 < 0,5 > 4 %	80 – 100 2 – 5 80 – 100 5 – 10 80 – 100 10 – 15 80 – 150 15 – 30 < 0,5 > 4 %	- - - - - - - < 0,5 > 4 %

(Sumber : SNI 6774:2008)

Di sisi lain, penyaringan pasir lambat (*slow sand filtration*) memiliki laju penyaringan yang sangat lambat (dibandingkan dengan penyaringan pasir cepat) dan merupakan proses yang dapat digunakan sebagai proses pengolahan yang berdiri sendiri. Media filter di penyaringan pasir lambat tidak menjalani pencucian balik sama sekali, tetapi filter dibersihkan dengan menghilangkan lapisan atas pasir pada interval minggu yang panjang.

7. Disinfeksi

Disinfeksi dalam pengolahan air minum dilakukan dengan tujuan melindungi pengguna air dari bahaya mikroorganisme yang terkandung dalam air. Sebagian besar bakteri dan mikroorganisme yang lebih besar dihilangkan selama proses klarifikasi, khususnya pada saat proses penyaringan pasir. Namun, banyak bakteri dan virus masih tetap berada di air jernih bahkan pada tingkat kekeruhan yang rendah. Oleh karena itu, penting untuk mendisinfeksi air sebagai upaya dalam mencegah kemungkinan penyakit yang ditularkan melalui air yang disebarkan oleh patogen (mikroorganisme penyebab penyakit) di dalam air.



**Gambar 13. Tangki bahan kimia di SPAM IKK
Kab. Pacitan, Jawa Timur**

(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Disinfeksi air memerlukan penambahan sejumlah bahan kimia (disinfektan) yang dicampurkan ke dalam air dan memungkinkan terjadinya kontak antara air dan disinfektan untuk jangka waktu yang telah ditentukan sebelumnya (di bawah kondisi pH dan suhu tertentu). Sedangkan disinfeksi air dengan metode fisik meliputi penyinaran dengan sinar Ultra Violet (UV) dan perebusan air.

Disinfektan yang paling umum digunakan adalah gas klorin [Cl_2] yang dilarutkan dalam air pada konsentrasi tertentu untuk waktu kontak minimum tertentu. Disinfektan lainnya juga bisa digunakan seperti ozon, *chlorine dioxide* dan senyawa klorin lainnya seperti calcium hypochlorite (HTH), sodium hypochlorite (pemutih) dan monochloramine. Sebagaimana diatur dalam SNI 6774:2008, jenis disinfektan yang dapat digunakan antara lain:

- Gas klor (Cl_2), kandungan klor aktif minimal 99%;
- Kaporit / kalsium hipoklorit ($\text{CaOCl}_2 \times \text{H}_2\text{O}$) kandungan klor aktif (60-70) %;
- Sodium hipoklorit (NaOCl), kandungan klor aktif 15%;

Sedangkan dosis klor ditentukan berdasarkan dpk yaitu jumlah klor yang dikonsumsi air, besarnya tergantung dari kualitas air bersih yang diproduksi serta ditentukan dari sisa klor di instalasi (0,25 – 0,35) mg/L.

Klorin merupakan pengoksidasi kuat dan bereaksi mengoksidasi beberapa sistem penting dari mikro-organisme sehingga menonaktifkan atau menghancurkan mereka. Bentuk yang berbeda dimana klorin digunakan untuk disinfeksi, memiliki kekuatan pengoksidasi yang berbeda pula dan ini harus

diperhitungkan untuk memastikan disinfeksi yang efektif. Klorin dapat ditambahkan ke air dalam berbagai bentuk. Gas klorin [Cl₂] dikirim ke *plant* pengolahan air dalam tabung gas dan dimasukkan ke dalam air melalui perangkat dosis khusus (klorinator).

Berdasarkan SNI 6774:2008, pembubuhan gas klor dapat dilakukan dengan menyuntikkan langsung ke instalasi pengolahan air bersih, dan pembubuhan gas menggunakan peralatan tertentu yang memenuhi ketentuan yang berlaku. Keperluan perlengkapan disinfeksi untuk pembubuhan gas klor adalah sebagai berikut :

- Peralatan gas klor disesuaikan minimal 2, lengkap dengan tabungnya;
- Tabung gas klor harus ditempatkan pada ruang khusus yang tertutup;
- Ruangan gas klor harus terdapat peralatan pengamanan terhadap kebocoran gas klor;
- Alat pengamanan adalah pendeteksi kebocoran gas klor dan sprinkler air otomatis atau manual.
- Harus disediakan masker gas pada ruangan gas klor.

Calcium hypochlorite, [Ca(OCl)₂] (umumnya dikenal sebagai HTH). Di Indonesia, *calcium hypochlorite* lazimnya disebut juga dengan kaporit. Biasanya tersedia dalam bentuk butiran atau padat (tablet). Oleh karena itu, bentuk ini sangat nyaman dalam pengaplikasian klorin, terutama untuk *plant* yang lebih kecil atau pedesaan. Kaporit mengandung antara 65-70% klorin, relatif stabil dan dapat disimpan untuk jangka waktu yang lama

(berbulan-bulan) di lingkungan yang kering dan sejuk. Berdasarkan SNI 6774:2008, kaporit dibubuhkan ke instalasi pengolahan air bersih secara gravitasi atau mekanis. Bak yang digunakan dalam pembubuhan kaporit harus memiliki kriteria antara lain:

- Bak dapat menampung larutan selama 8 sampai dengan 24 jam;
- Diperlukan 2 buah bak yaitu bak pengaduk manual / mekanis dan bak pembubuh;
- Bak harus dilindungi dari pengaruh luar dan tahan terhadap kaporit.

Sodium hypochlorite [NaOCl], yang umumnya dikenal sebagai pemutih dalam rumah tangga dengan nama merek yang berbeda, tersedia dalam bentuk larutan. *Sodium hypochlorite* mengandung 12-13% hipoklorit, yang setara dengan 10-12% klorin yang tersedia. *Sodium hypochlorite* relatif tidak stabil dan cepat rusak, terutama bila terkena sinar matahari. *Sodium hypochlorite* juga membentuk HOCl dan OCl⁻ pada proses disosiasi.

Monochloramine (disebut klorin gabungan yang tersedia) juga digunakan untuk desinfeksi air. Ini terbentuk ketika HOCl ditambahkan ke air yang mengandung sejumlah kecil amonia. Amonia bereaksi dengan HOCl membentuk monokloramin [NH₂Cl]. Hal ini menjadikan *monochloramine* jauh kurang efektif sebagai disinfektan daripada HOCl. Namun, ia memiliki keuntungan karena jauh lebih stabil dalam air daripada klorin.

Untuk alasan ini sering digunakan untuk memberikan perlindungan residual dalam sistem distribusi yang lebih besar.

Dua faktor terpenting yang menentukan efektivitas disinfeksi dengan klorin adalah konsentrasi klorin dan waktu kontak klorin. pH air, kekeruhan air, paparan sinar matahari serta suhu air juga memainkan peran penting. Konsentrasi klorin adalah faktor kontrol yang paling penting untuk memastikan disinfeksi yang efektif. Namun, karena klorin dapat berada dalam wujud yang berbeda dalam air dengan tingkat efektivitas yang berbeda pula seperti dijelaskan di paragraf sebelumnya, konsentrasi klorin yang sebenarnya digunakan untuk disinfeksi harus diperhitungkan. Biasanya konsentrasi klorin yang cukup ditambahkan ke air tidak kurang dari 0,5 mg/L setelah waktu kontak 30 menit untuk memberikan residu klorin bebas.

Salah satu masalah yang terkait dengan klorinasi adalah terbentuknya produk sampingan dari klorinasi. Beberapa di antaranya sering disebut *trihalomethanes* (THM's), yang telah terbukti memiliki efek yang negatif untuk kesehatan, dan untuk alasan ini konsentrasi THM's harus dikendalikan pada level yang seminimum mungkin dalam air minum. Oleh karena itu, penting untuk mengontrol dosis klorinasi dan mengolah air sebelum kontak dengan klorin untuk menghilangkan bahan organik di dalam air (disebut bahan prekursor) ke tingkat yang rendah.

Faktor penting berikutnya yang mempengaruhi disinfeksi adalah kekeruhan air yang akan didesinfeksi. Alasannya adalah bahwa ketika air mengandung banyak partikel koloid, mereka dapat "melindungi" mikro-organisme dari aksi disinfektan, atau

justru bereaksi dengan klorin dan hal seperti ini membuat desinfeksi menjadi tidak efektif. Oleh karena itu penting untuk mengoptimalkan proses klarifikasi sebelum dilakukannya desinfeksi untuk menghasilkan air dengan tingkat kekeruhan serendah mungkin dengan nilai <1 NTU, atau lebih baik lagi $<0,5$ NTU.

Belakangan ini, desinfeksi dengan penyinaran ultra-violet (UV) menjadi semakin populer karena tidak ada produk sampingan yang terbentuk dalam prosesnya. Prinsip kerja radiasi UV yaitu membunuh atau menonaktifkan mikro-organisme asalkan setiap organisme tersebut menerima penyinaran/radiasi dalam waktu minimum pada intensitas dosis minimum (*fluence*).

Air yang akan didisinfeksi dengan UV harus diolah terlebih dahulu dengan benar untuk memastikan tingkat kekeruhan yang rendah, sebaiknya lebih rendah dari 0,5 NTU. Jika air mengandung tingkat kekeruhan yang tinggi, koloid akan menyerap sebagian radiasi atau melindungi mikro-organisme terhadap radiasi yang tentunya akan mengurangi efektivitas proses radiasi.

Aspek penting lain yang harus diperhatikan juga adalah tabung UV rentan terhadap pembentukan lapisan kerak atau bahan pengotoran lainnya. Ini juga mengakibatkan berkurangnya efektivitas radiasi. Oleh karena itu, tabung UV sebaiknya diperiksa dan dibersihkan secara teratur untuk mencegah pembentukan kerak atau akumulasi kotoran lain pada tabung. Penggunaan tabung UV dalam jangka panjang juga akan mengurangi efektivitas radiasi yang keluar. Ini dapat diantisipasi

dengan meningkatkan daya yang diterapkan ke tabung atau mempercepat program penggantian tabung UV.

8. Stabilisasi air

Stabilisasi air mengacu pada stabilitas kimia (khususnya berhubungan dengan CaCO_3) pada air. Stabilitas kimia mempengaruhi kecenderungan air menjadi korosif atau membentuk kerak kimia dalam pipa dan perlengkapan distribusi air. Stabilisasi air dicapai dengan langkah penambahan bahan kimia ke dalam air untuk menyesuaikan sifat kimianya agar mencegah terjadinya korosi atau pembentukan kerak. Air yang tidak stabil secara kimiawi dapat berakibat :

- korosif terhadap pipa dan perlengkapan distribusi air (khususnya yang terbuat dari logam), yang akhirnya menyebabkan kebocoran pada sistem distribusi dan kerugian biaya yang besar, serta
- pembentukan kerak, yang ditandai dengan terbentuknya lapisan kerak kimia di pipa dan pada elemen pemanas. Ini juga mengakibatkan kerugian biaya yang besar karena daya dukung pipa berkurang dan perpindahan panas dalam ketel terganggu. Dari sisi biaya, sangat penting untuk memastikan bahwa air untuk keperluan rumah tangga selalu stabil secara kimiawi.

Stabilisasi air melibatkan penambahan bahan kimia ke dalam air untuk menghasilkan air dengan *calcium carbonate precipitation potential* (CCPP) sekitar 4 mg/L. Ini berarti bahwa air harus sedikit jenuh dengan kalsium karbonat. Efeknya adalah lapisan kalsium karbonat yang sangat tipis akan terbentuk pada permukaan yang melindunginya dari korosi.

9. Pengolahan dan pembuangan lumpur

Lumpur dari tangki sedimentasi memiliki potensi pencemaran yang besar karena mengandung semua bahan tersuspensi yang dikeluarkan dari air bersama-sama dengan bahan kimia yang digunakan untuk koagulasi. Oleh karena itu, lumpur harus dibuang dengan cara yang tepat untuk mencegah kontaminasi sumber air. Lumpur ditarik dari tangki sedimentasi dalam bentuk encer (2-5% m/v padatan) dan terkadang mengental sebelum dibuang. Pada pekerjaan pengolahan yang lebih kecil, lumpur dibuang di *sludge drying bed* (bak pengering lumpur).



**Gambar 14. Bak Pengering Lumpur di SPAM IKK
Kota Batam, Kepulauan Riau**

(Sumber : Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Konstruksi bak pengering lumpur terbuat dari beton, dengan luas permukaan yang cukup untuk mengeringkan lumpur. Bak ini merupakan bendungan penahan berukuran besar di mana lumpur memadat ke bagian dasar dan air yang jernih akan terakumulasi di atas lumpur. Air jernih dapat didaur ulang di saluran *inlet* pabrik. Sedangkan air dari *backwash* filtrasi pasir memiliki karakteristik yang sama (walaupun lebih encer) dan harus

diperlakukan serta dibuang dengan cara yang sama seperti lumpur dari tangki sedimentasi.

E. Tinjauan Proses Pengolahan Lanjutan

Istilah proses pengolahan lanjutan mengacu pada proses selain proses konvensional, yaitu koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi, klorinasi, dan stabilisasi. Proses yang biasanya dianggap sebagai proses lanjutan adalah proses membran seperti *Reverse Osmosis* (RO), *Nanofiltration* (NF), *Ultrafiltration* (UF), dan *Electrodialysis* (ED). Juga proses lain seperti adsorpsi karbon aktif, ozonasi, proses oksidasi untuk penghilangan besi dan mangan, serta proses untuk menghilangkan zat tertentu seperti fluorida.

1. *Reverse Osmosis* (RO)

Pengaplikasian utama RO bertujuan untuk menghilangkan zat terlarut, termasuk ion seperti Na^+ dan Cl^- dari larutan. RO adalah proses desalinasi umum yang digunakan untuk desalinasi air laut, air payau dan limbah TDS tinggi. Membran yang digunakan dalam proses ini bersifat kontinu, dalam arti tidak memiliki pori-pori. Ukuran terkecil dari ion terlarut dan bahan organik yang dapat dihilangkan oleh RO adalah pada orde 0,1 nm (nanometer), yang setara dengan 0,0001 mikrometer, atau 0,0000001 mm. Oleh karena itu, RO dapat menghilangkan semua partikel termasuk semua bakteri dan virus, semua makromolekul organik dan sebagian besar molekul organik dengan massa molekul lebih besar dari 150 Dalton (satuan massa mol). Dengan kemampuan tersebut, RO dapat menghasilkan produk air yang mempunyai kualitas sangat baik.

2. *Nanofiltration (NF)*

Nanofiltration (atau bisa disebut nanofiltrasi) juga merupakan proses desalinasi karena bertujuan untuk memisahkan garam terlarut dari larutan. Jenis membran dan modul yang digunakan serupa dengan RO. Namun, membran NF mengandung pori-pori yang sangat kecil, sehingga memungkinkan zat untuk melewatinya. Ion monovalen seperti Na^+ dan Cl^- dengan mudah menembus membran NF, sedangkan ion divalen seperti Ca^{2+} dan SO_4 ditolak oleh membran NF. Oleh karena itu, NF merupakan proses yang efektif untuk melunakkan air (menghilangkan Ca, Mg dan ion penyebab kesadahan lainnya).

3. *Ultrafiltration (UF)*

Ultrafiltration (atau bisa disebut ultrafiltrasi) mirip dengan dua proses di atas dalam hal kekuatan pendorong, tetapi memiliki perbedaan pada membran berporinya. Ini berarti bahwa pemisahan disebabkan oleh mekanisme saringan dan oleh karena itu ion terlarut dan organik terlarut tidak dihilangkan. Namun, untuk partikulat dan makromolekul ditolak. Ini berarti bahwa bakteri dan virus, serta zat organik yang lebih besar (termasuk THM's) dapat hilang dengan proses UF. Karakteristik semacam ini mengakibatkan penerapan UF dalam pengolahan air minum sebagai alternatif untuk proses koagulasi-filtrasi-disinfeksi konvensional. Ukuran pori pada membran UF berkisar antara 10-50 nm dengan tekanan operasi pada kisaran 200-800 kPa.

4. *Microfiltration* (MF)

Microfiltration sangat mirip dengan UF, dengan perbedaan utama adalah ukuran pori, tekanan operasi dan kualitas permeat. Permeat adalah bagian yang dilewatkan oleh membran (untuk hasil yang diinginkan). Ukuran pori ≥ 50 nm dan tekanan operasi sekitar 100 kPa. Hanya partikel yang dapat dihilangkan oleh MF.

5. *Electrodialysis* (ED)

Electrodialysis adalah proses pemisahan membran di mana gaya penggerakannya adalah potensial listrik yang melintasi membran. Berbeda dengan proses yang digerakkan oleh tekanan di mana air dipisahkan dari larutan umpan, dalam elektrodialisis ion bermuatan dipisahkan dari air umpan. Ini berarti air produk mengandung lebih sedikit garam terlarut, tetapi semua senyawa yang tidak bermuatan seperti molekul organik dan semua partikulat termasuk bakteri dan virus akan tetap berada dalam air hasil produksi. Ini adalah kelemahan ED dibandingkan dengan RO, tetapi prosesnya memiliki kelebihan tertentu lainnya yang membuatnya kompetitif dengan RO di banyak aplikasi.

6. Oksidasi dan penghilangan besi dan mangan

Beberapa senyawa anorganik dalam air pertama-tama harus dioksidasi menjadi bentuk kimia yang dapat dengan mudah dihilangkan dari air. Contohnya adalah unsur besi dan mangan yang terdapat di beberapa air tanah dan beberapa sumber air permukaan yang tercemar dalam konsentrasi yang relatif tinggi. Zat-zat ini larut dan tidak terlihat, serta tidak dapat dihilangkan dengan proses *treatment* konvensional. Selama pengolahan air dan dalam sistem pendistribusiannya, unsur besi dan mangan yang

terkandung dapat teroksidasi dan menyebabkan masalah dalam sistem distribusi dan peralatan di rumah. Kedua unsur tersebut akan mengendap dan dapat menyebabkan perubahan warna pada air dan memberikan noda pada pakaian. Oleh karena itu perlu untuk menghilangkan unsur besi dan mangan melalui proses khusus di instalasi pengolahan.

Besi dan mangan terlarut terdapat dalam bentuk tereduksi di beberapa perairan (Fe^{2+} dan Mn^{2+}). Oleh karena itu, langkah pertama dalam proses penghilangan kedua unsur tersebut melibatkan oksidasi besi dan mangan menjadi bentuk yang selanjutnya dapat diendapkan dan dihilangkan selama penyaringan. Oksidasi dapat dicapai dengan menggunakan bantuan oksidan seperti klorin, ozon, *potassium permanganate*, oksigen atau udara. Besi biasanya diendapkan sebagai besi hidroksida [$\text{Fe}(\text{OH})_3$], sedangkan mangan diendapkan sebagai oksida [MnO_2].

Besi terlarut sebagai Fe^{2+} dan mudah teroksidasi menjadi Fe^{3+} , yang dapat diendapkan sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan dihilangkan selama sedimentasi dan penyaringan pasir. Besi dapat dioksidasi dengan aerasi air, tetapi terkadang oksidan yang lebih kuat seperti klorin mungkin diperlukan jika besi dalam bentuk yang lebih kompleks.

Sedangkan mangan tidak mudah dioksidasi oleh udara dan diperlukan oksidan yang lebih kuat. *Potassium permanganate* merupakan oksidan yang efektif untuk mengoksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{4+} , yang kemudian mengendap sebagai MnO_2 . Pasir dalam *sand filtration* yang digunakan untuk menghilangkan unsur besi dan mangan harus dilapisi dengan lapisan mangan dioksida dan pasir

berlapis (*greensand*) untuk membantu proses penghilangan unsur besi dan mangan.

BAB IV

KOAGULASI - FLOKULASI

A. Tinjauan Umum

Koagulasi adalah proses destabilisasi koloid dengan penambahan senyawa kimia yang disebut zat koagulan. Sedangkan flokulasi adalah proses penggumpalan (*agglomeration*) dari koloid yang tidak stabil menjadi gumpalan partikel halus (mikroflok), dan selanjutnya menjadi gumpalan partikel yang lebih besar dan dapat diendapkan dengan cepat. Proses koagulasi dan flokulasi biasanya akan selalu berdampingan (Burton, dkk., 2003). Proses koagulasi terdiri dari dua proses yang dapat diamati yaitu sebagai berikut.

- 1) Pengadukan cepat yang berfungsi untuk meratakan penyebaran zat kimia yang ditambahkan ke dalam air.
- 2) Flokulasi sebagai penggumpalan partikel kecil, dan membutuhkan waktu yang lebih lama.

Koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antara partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat muatan listrik. Pada kondisi stabil, penggumpalan partikel tidak terjadi dan gerakan Brown menyebabkan partikel tetap berada sebagai suspensi. Melalui proses koagulasi terjadi proses destabilisasi, sehingga partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi besar. Dengan demikian, partikel-partikel koloid yang pada awalnya sukar dipisahkan dari air, setelah koagulasi akan menjadi kumpulan partikel yang lebih besar sehingga mudah dipisahkan dengan cara sedimentasi, filtrasi, atau proses pemisahan lainnya yang lebih mudah. Tahapan dalam proses penggumpalan koloid dirangkum pada tabel 16.

Tabel 16. Tahapan di Dalam Proses Penggumpalan Koloid

Tahap	Faktor	Istilah
Penambahan zat koagulan	Reaksi dengan air, ionisasi, hidrolisis, polimerisasi	Hidrolisis
Destabilisasi	Absorpsi ion spesifik dari zat koagulan pada permukaan partikel	Koagulasi
	Penggandengan antara ion, atau grup ion pada permukaan partikel koloid	
	Penggabungan partikel koloid pada endapan senyawa hidroksida	
	Pembentukan rantai atau jembatan antar partikel oleh polimer koagulan tertentu	
Transport	Gerak Brown	Flokulasi Perikinetik
	Gradien kecepatan <i>dissipated energy</i>	Flokulasi Ortokinetik

(Sumber : Degremont, 1991)

B. Koloid dan Padatan Tersuspensi

Di dalam air, tentunya terdapat senyawa-senyawa polutan yang tersuspensi, berupa koloid maupun yang terlarut. Secara umum, senyawa-senyawa polutan tersebut dapat dibedakan menjadi padatan tersuspensi (*suspended solids*), padatan koloid (*colloidal particles*), dan senyawa atau zat yang terlarut (*dissolved substances*) (Said, 2017). Berikut merupakan penjelasan dari senyawa polutan tersebut.

1) Padatan tersuspensi (*suspended solids*)

Zat padat tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal dari mineral-mineral yang berukuran kecil, seperti pasir yang sangat halus, silt, lempung, atau bisa juga berasal dari zat organik semisal asam humus, asam vulvat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di

samping itu, padatan tersuspensi ini juga dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lain. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna pada air.

2) Partikel koloid (*colloidal particles*)

Partikel koloid sebenarnya hampir sama dengan padatan tersuspensi, hanya saja mempunyai ukuran yang lebih kecil yaitu $<1 \mu\text{m}$, dengan kecepatan pengendapan yang sangat rendah. Partikel koloid juga menyebabkan kekeruhan atau warna pada air.

3) Zat terlarut (*dissolved substances*)

Zat terlarut merupakan senyawa yang larut dalam air, dengan ukuran kurang dari beberapa nanometer. Senyawa ini umumnya hadir dalam wujud ion positif atau ion negatif. Gas-gas terlarut dalam air juga termasuk dalam golongan ini, seperti oksigen, karbondioksida, hidrogen sulfida, dan lain-lain.

C. Stabilitas Koloid

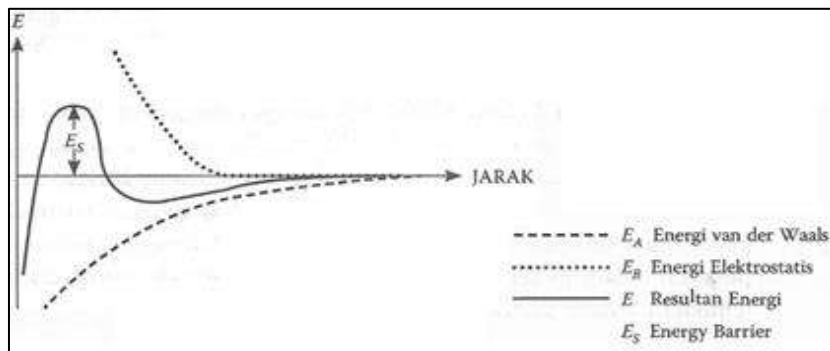
Dispersi koloid dalam air merupakan partikel-partikel bebas yang tertahan dalam air dalam bentuk suspensi. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel yang sangat halus, hidrasi oleh air, dan adanya muatan listrik permukaan. Faktor yang paling mempengaruhi stabilitas koloid dalam air adalah ukuran partikelnya. Untuk partikel koloid, rasio luas permukaan partikel terhadap berat sangat besar, sehingga efek permukaan misalnya gaya tolak menolak elektrostatis dan juga hidrasi menjadi lebih dominan (Said, 2017). Beberapa contoh waktu pengendapan untuk berbagai jenis partikel dapat dilihat pada tabel 17.

Tabel 17. Waktu Pengendapan Berbagai Jenis Partikel

Dimensi Partikel			Tipe Partikel	Waktu Pengendapan dalam 1 m air	Luas Spesifik m^2/m^3
mm	μm	Å			
10	10^4	10^8	Kerikil	1 detik	$6 \cdot 10^2$
1	10^3	10^7	Pasir	10 detik	$6 \cdot 10^3$
10^{-1}	10^2	10^6	Pasir halus	2 menit	$6 \cdot 10^4$
10^{-2}	10	10^5	Lempung	2 jam	$6 \cdot 10^5$
10^{-3}	1	10^6	Bakteria	8 hari	$6 \cdot 10^6$
10^{-4}	10^{-1}	10^5	Koloid	2 tahun	$6 \cdot 10^7$
10^{-5}	10^{-2}	10^4	Koloid	20 tahun	$6 \cdot 10^8$
10^{-6}	10^{-3}	10^3	Koloid	200 tahun	$6 \cdot 10^9$

(Sumber : Degremont, 1991)

Di dalam sistem suspensi koloid, terdapat dua buah gaya yang bekerja yakni gaya tarik menarik antar partikel atau disebut gaya van der Waals (E_A) dan gaya tolak menolak yang disebut gaya elektrostatis (E_B). Stabilitas suspensi koloid sangat tergantung kepada keseimbangan antara kedua gaya tarik menarik dan gaya tolak menolak tersebut. Gambaran mengenai stabilitas suspensi koloid dapat dilihat pada gambar 15.



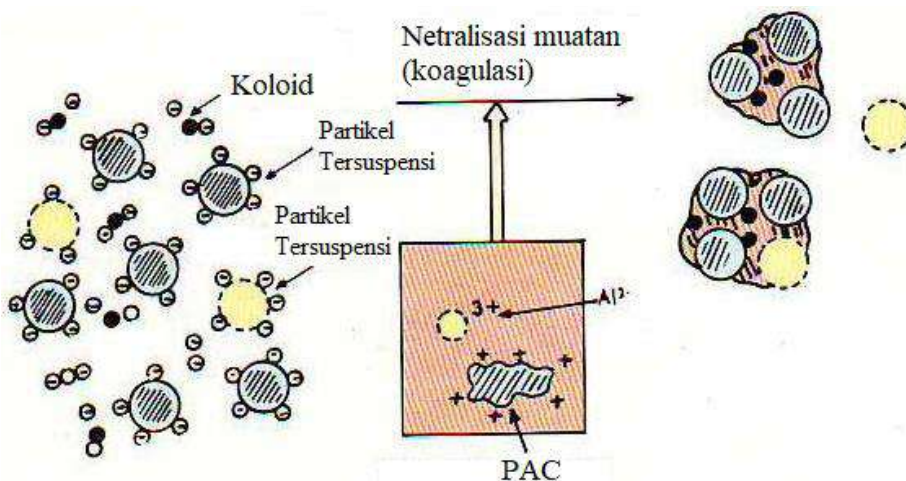
Gambar 15. Stabilitas Suspensi Koloid

(Sumber : Said, 2017)

Berdasarkan hal tersebut, untuk mengendapkan partikel suspensi koloid (proses destabilisasi koloid) perlu mengatasi halangan energi (*energy barrier*), E_s . Untuk mencapai hal tersebut, maka koagulasi menjadi proses yang penting dalam membantu penggumpalan koloid dengan mengurangi atau mereduksi gaya tolak menolak elektrostatis.

D. Proses Koagulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus, dengan suatu koagulan sehingga akan terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan. Di dalam proses koagulasi, dilakukan pengadukan cepat yang bertujuan untuk mendispersikan koagulan hingga rata dengan waktu yang singkat untuk memperkecil peluang pecahnya flok menjadi partikel-partikel kecil tersuspensi. Ilustrasi proses koagulasi diperlihatkan pada gambar 16.



Gambar 16. Proses Koagulasi
(Sumber : Susanto, 2008)

Koagulasi adalah proses pengolahan air dimana zat padat melayang berukuran sangat kecil dan koloid digabungkan sehingga terbentuk flok-flok dengan cara menambahkan zat kimia. Flok-flok yang dihasilkan dari proses ini kemudian bisa diendapkan dan disaring. Proses koagulasi dapat dilakukan melalui tahap pengadukan antara koagulan dengan air baku dan netralisasi muatan. Prinsip dari koagulasi yaitu di dalam air baku terdapat partikel-partikel padatan yang sebagian besar bermuatan listrik negatif cenderung untuk saling tolak-menolak satu sama lainnya, sehingga tetap stabil dalam bentuk tersuspensi atau koloid dalam air. Netralisasi muatan negatif partikel-partikel padatan dilakukan dengan pembubuhan koagulan bermuatan positif ke dalam air diikuti dengan pengadukan secara tepat. Bila garam-garam logam tertentu seperti PAC ditambahkan maka pembentukan presipitat akan terjadi dengan cepat. Koloid dapat berlaku sebagai inti kondensasi dalam presipitat tersebut dan koloid ikut terjaring ketika presipitat tersebut mengendap.

Bahan kimia untuk proses koagulasi umumnya dibagi menjadi tiga golongan, yakni zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel padat tersuspensi, zat warna, koloid dan lain-lain agar membentuk gumpalan partikel yang besar (flok) sehingga dapat dengan cepat diendapkan pada bak pengendap. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan berfungsi untuk mengatur pH agar kondisi air baku dapat menunjang proses flokulasi, serta membantu agar pembentukan flok dapat berjalan dengan lebih cepat dan baik (Said, 2017).

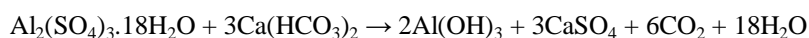
a) Zat Koagulan

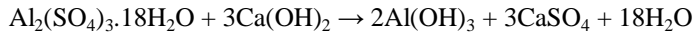
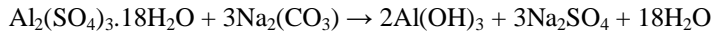
Pemilihan zat koagulan harus didasarkan pada pertimbangan seperti jumlah dan kualitas air yang akan diolah, kekeruhan air baku, metode filtrasi, serta sistem pembuangan lumpur endapan. Beberapa koagulan yang sering dipakai antara lain aluminium sulfat (alum) dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Di samping itu, ada senyawa polimer tertentu yang dapat dipakai bersama-sama dengan senyawa koagulan lainnya. Penjelasan terkait koagulan tersebut akan dijelaskan lebih rinci dalam bagian berikut (Said,2017).

1) Aluminium Sulfat (Alum), $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Alum merupakan bahan koagulan yang banyak dipakai untuk pengolahan air karena harganya murah, flok yang dihasilkan stabil serta cara pengerjaan maupun transportasinya mudah. Apabila dibandingkan dengan koagulan dari garam besi, alum tidak menimbulkan pengotoran yang serius pada dinding bak. Sedangkan beberapa kekurangannya yakni flok yang terjadi lebih ringan daripada flok yang dihasilkan koagulan garam besi dan selang pH operasi lebih sempit yakni 5,5-8,5. Selain itu, penggunaannya pada suhu yang rendah dan konsentrasi yang tinggi akan menyebabkan pengkristalan Al_2O_3 yang menyebabkan pipa menjadi tersumbat. Jika alkalinitas air baku tidak cukup untuk dapat bereaksi dengan alum, maka dapat ditambahkan kapur atau soda abu agar reaksi dapat berjalan baik.

Reaksi kimianya secara sederhana dapat ditunjukkan sebagai berikut:





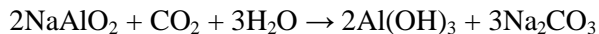
2) Ammonia Alum

Rumus kimia koagulan ini $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$.

Ammonia Alum adalah garam rangkap amonium aluminium sulfat. Kelarutan dalam air memerlukan waktu lebih lama daripada alum dan daya koagulasinya lebih rendah. Penggunaannya biasanya terbatas untuk instalasi kecil dan untuk air baku dengan kekeruhan yang tidak begitu tinggi. Misalnya untuk kolam renang, industri kecil dan lainnya.

3) Natrium Aluminat, NaAlO_2

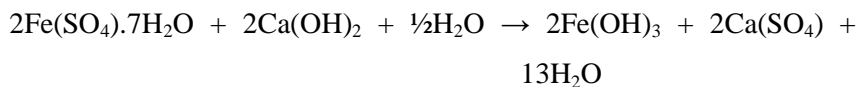
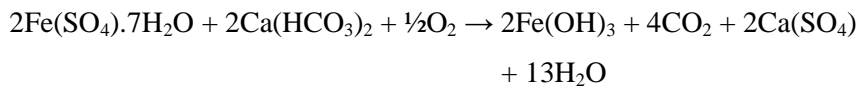
Dibuat dengan melarutkan Al_2O_3 ke dalam larutan NaOH , daya koagulasinya tidak begitu kuat. Dapat bersifat sebagai koagulan dan zat alkali serta efektif untuk menghilangkan zat warna. Sering digunakan untuk pengolahan air boiler dan jarang digunakan untuk pengolahan air minum. Biasanya digunakan bersama-sama dengan alum karena dapat membentuk flok dengan cepat. Reaksi kimia antara natrium aluminat dengan alum dan karbon dioksida adalah sebagai berikut:



4) Ferrous Sulfat (*Copperas*)

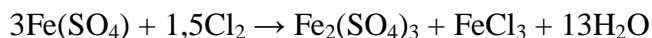
Ferro sulfat berwujud kristal berwarna hijau atau butiran (*granular*) untuk pembubuhan kering dengan kandungan $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ kira-kira 55%. Ferrous sulfat sangat baik untuk pengolahan air yang mempunyai alkalinitas, kekeruhan dan DO yang tinggi. Kondisi pH yang sesuai yakni antara 9,0--11,0. Ferro sulfat

bereaksi dengan alkalinitas alami tetapi reaksinya lebih lambat dibandingkan dengan reaksi antara alum dengan HCO. Biasanya digunakan bersama-sama dengan kapur untuk menaikkan pH, sehingga ion ferro terendapkan dalam bentuk ferri hidroksida [Fe(OH)₃]. Reaksinya adalah sebagai berikut:



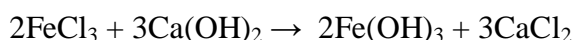
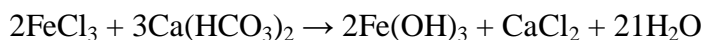
5) Chlorinated Copperas

Cara ini merupakan metode lain dari penggunaan ferro sulfat sebagai koagulan. Dalam proses ini klorin ditambahkan untuk mengoksidasi ferro sulfat menjadi ferri sulfat. Reaksinya adalah sebagai berikut:



6) Ferri Klorida

Ferri klorida mempunyai rumus kimia FeCl₃·H₂O. Keuntungan dari koagulan garam ferric antara lain adalah proses koagulasi dapat dilakukan pada selang pH yang lebih besar, biasanya antara pH 4-9. Flok yang terjadi lebih berat sehingga cepat mengendap, serta efektif untuk menghilangkan warna, bau, dan rasa. Dapat bereaksi dengan bikarbonat (alkalinitas) atau kapur. Reaksinya adalah sebagai berikut:



7) Poly Aluminium Chloride (PAC)

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan bentuk polimerisasi kondensasi dari garam aluminium, berwujud cair dan merupakan koagulan yang sangat baik. Mempunyai dosis yang bervariasi dan sedikit menurunkan alkalinitas. Dibandingkan dengan aluminium sulfat, PAC mempunyai beberapa kelebihan yakni kecepatan pembentukan floknya cepat dan flok yang dihasilkan mempunyai kecepatan pengendapan yang besar yakni 3 - 4,5 cm/menit, dan dapat menghasilkan flok yang baik meskipun pada suhu rendah. Dari segi teknik dan ekonomi, alum biasanya dipakai pada saat kondisi air baku yang normal sedangkan PAC dipakai pada saat temperatur rendah atau pada saat kekeruhan air baku sangat tinggi.

b) Zat Alkali

Zat alkali adalah zat yang digunakan dalam pengaturan pH dan alkalinitas air baku, agar proses koagulasi-flokulasi dapat berjalan dengan baik serta efektif. Zat alkali yang sering digunakan untuk pengolahan air minum diantaranya batu kapur (*slake lime*) dan soda abu (NaHCO_3). Hal-hal berikut ini harus diperhatikan dalam menentukan dosis zat alkali yang akan dibubuhkan.

- Laju pembubuhan harus ditentukan berdasarkan alkalinitas air baku dan laju pembubuhan koagulan. Perlu atau tidaknya penambahan zat alkali tersebut serta dosisnya harus ditentukan berdasarkan alkalinitas air baku, lama pembubuhan koagulan serta alkalinitas air olahan yang diharapkan dengan *jar test*.
- Konsentrasi larutan yang dipakai harus disesuaikan dengan dosis dan cara operasi. Cara pembubuhannya dapat dengan cara basah

atau cara kering. Untuk bubuk kapur atau soda abu biasanya dipakai cara pembubuhan kering, tetapi dapat juga memakai cara basah yaitu dengan cara melarutkan dalam air dengan konsentrasi tertentu. Untuk larutan kapur konsentrasi antara 5-10% sedangkan untuk larutan soda abu antara 20-25%.

- Lokasi pembubuhan (*feeding point*) harus ditentukan sehingga fungsi pembubuhan zat alkali dapat dipenuhi yaitu untuk pengontrolan pH dan alkalinitas. Biasanya pembubuhan dilakukan di lokasi sebelum titik pembubuhan koagulan atau dapat juga dilakukan bersama-sama dengan koagulan di bak pencampur cepat.

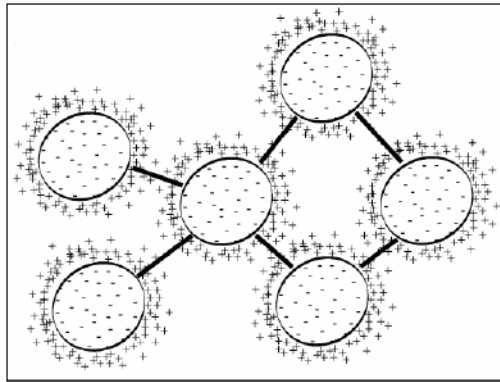
c) **Zat Koagulan Pembantu**

Pemakaian zat koagulan saja sering kali tidak cukup untuk menghasilkan pembentukan flok yang baik, terutama pada saat kekeruhan air baku tinggi, misalnya setelah hujan, pada saat musim dingin, ataupun pada saat permintaan produksi meningkat. Oleh karena itu koagulan pembantu digunakan agar pembentukan flok dapat berjalan dengan baik.

Pemilihan jenis zat koagulan pembantu harus dapat menghasilkan flok yang baik/stabil dan tidak berbahaya ditinjau dari segi kesehatan. Di samping itu juga harus ekonomis serta pengerjaannya mudah. Bahan koagulan pembantu yang sering dipakai antara lain silika aktif dan natrium alginat (*sodium alginic acid*). Dosis zat koagulan pembantu harus ditentukan dengan pertimbangan bahwa pada keadaan biasa/normal dosis silika aktif adalah 1-5 ppm sebagai SiO₂, dan untuk natrium alginat adalah antara 0,2-2 ppm.

E. Proses Flokulasi

Flokulasi merupakan proses pembentukan flok, yang pada dasarnya merupakan pengelompokan/ aglomerasi antara partikel dengan koagulan (menggunakan proses pengadukan lambat). Proses pengikatan partikel koloid oleh flokulan dapat dilihat pada gambar 17. Pada flokulasi terjadi proses penggabungan beberapa partikel menjadi flok yang berukuran besar, yang membuat partikel tersebut lebih mudah diendapkan.



Gambar 17. Proses Pengikatan Koloid oleh Flokulan

(Sumber : Risdianto, 2007)

Selain bertindak sebagai proses lanjutan koagulasi, flokulasi dilakukan dengan tujuan antara lain:

- Meningkatkan penyisihan *Suspended Solid* (SS) dan BOD dari pengolahan fisik.
- Pada proses pengolahan air limbah, membantu memperlancar proses *conditioning*.
- Meningkatkan kinerja *secondary-clarifier* dan proses lumpur aktif.
- Sebagai *pretreatment* untuk proses pembentukan *secondary effluent* dalam filtrasi.

Setelah selesai dengan proses koagulasi, proses yang terjadi dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu proses flokulasi, dimana terjadi penggabungan partikel-partikel yang tidak stabil sehingga membentuk flok yang lebih besar dan dapat lebih cepat dipisahkan. Apabila pembentukan flok tidak terlalu bagus, maka dibutuhkan bahan kimia tambahan yang dapat membantu penggabungan flok-flok tersebut sehingga menjadi flok yang lebih besar. Dosis bahan kimia yang dibutuhkan pada saat proses flokulasi dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18. Penerapan Dosis Flokulan

Proses Kimia	Rentang Dosis (mg/L)	pH	Keterangan
Polimer kationik	2-5	Tidak berubah	Untuk koagulasi koloid atau untuk menambah koagulasi dengan logam. Pembentukan zat inert harus dihindari
Polimer anionik dan nonionik	0,25-1,0	Tidak berubah	Digunakan untuk tujuan flokulasi, untuk mempercepat flokulasi dan pengendapan
Penambahan berat dan tanah Liat	3-20	Tidak berubah	Digunakan untuk suspensi koloid yang sangat encer untuk diberatkan

(Sumber : Eckenfelder Jr, 2000)

F. Bak Koagulasi

Proses koagulasi merupakan salah satu proses penting di dalam sistem pengolahan air bersih, dimana proses ini dapat membuat partikel koloid yang sulit mengendap dapat digumpalkan sehingga membentuk grup partikel lebih besar dan berat yang dengan cepat dapat diendapkan. Oleh karena itu, bak koagulasi diperlukan untuk mendapatkan proses koagulasi yang efektif.

Bak koagulan sebagaimana diatur dalam SNI 6774:2008 harus memiliki kriteria sebagai berikut:

- Bak koagulan harus dapat menampung larutan selama 24 jam;
- Diperlukan 2 buah bak yaitu 1 buah bak pengaduk manual atau mekanis dan 1 buah bak pembubuh;
- Bak harus dilindungi dari pengaruh luar dan tahan terhadap bahan koagulan.

Ada dua tahapan dalam proses koagulasi. Yang pertama yaitu koagulasi partikel-partikel kotoran menjadi flok-flok yang masih halus/kecil dengan cara pengadukan cepat segera setelah koagulan dibubuhkan. Tahap ini disebut dengan pencampuran cepat dan prosesnya dilakukan pada bak pencampur cepat. Tahap selanjutnya adalah proses pertumbuhan flok agar menjadi besar dan stabil yaitu dengan cara pengadukan lambat pada bak flokulator. Proses tersebut yang dinamakan flokulasi. Dengan demikian, untuk proses koagulasi diperlukan dua buah bak yakni untuk bak pencampur cepat dan bak flokulator.

a) Bak Pencampur Cepat

Bak pencampur cepat harus dilengkapi dengan alat pengaduk cepat agar koagulan yang dibubuhkan dapat bercampur dengan air baku secara cepat dan merata. Karena kecepatan hidrolisa koagulan dalam air besar, maka diperlukan pembentukan flok-flok halus dari koloid hidroksida yang merata dan secepat mungkin sehingga dapat bereaksi dengan partikel-partikel kotoran membentuk flok yang lebih besar dan stabil.

Pengadukan cepat terbagi atas dua cara, yaitu pengadukan dengan energi yang ada dalam air dan pengadukan dengan energi yang didapat dari luar.

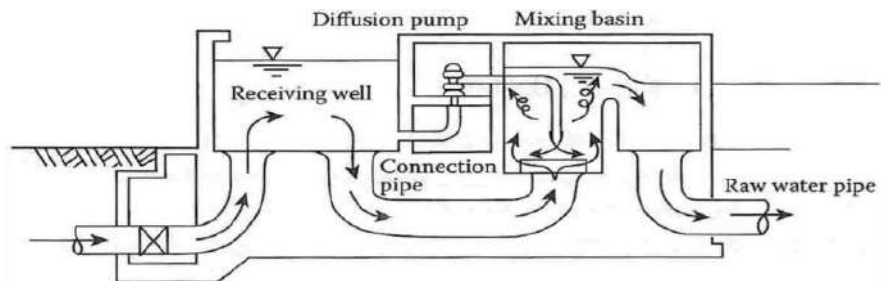
- Pengadukan berdasarkan energi dari air

Pengadukan dengan cara ini dapat dilakukan dengan cara aliran dalam bak yang dilewatkan pada saluran yang dilengkapi sekat horizontal maupun vertikal (*baffled flow type*). Atau juga dapat dilakukan dengan membuat aliran dalam sistem perpipaan menjadi aliran turbulen (kecepatan aliran $> 1,5$ m/detik). Selain cara tersebut, dapat juga dilakukan dengan *parshall flume* ataupun dengan cara menyemprotkan melalui lubang-lubang kecil (*nozzle*).

- Pengadukan berdasarkan energi mekanik dari luar

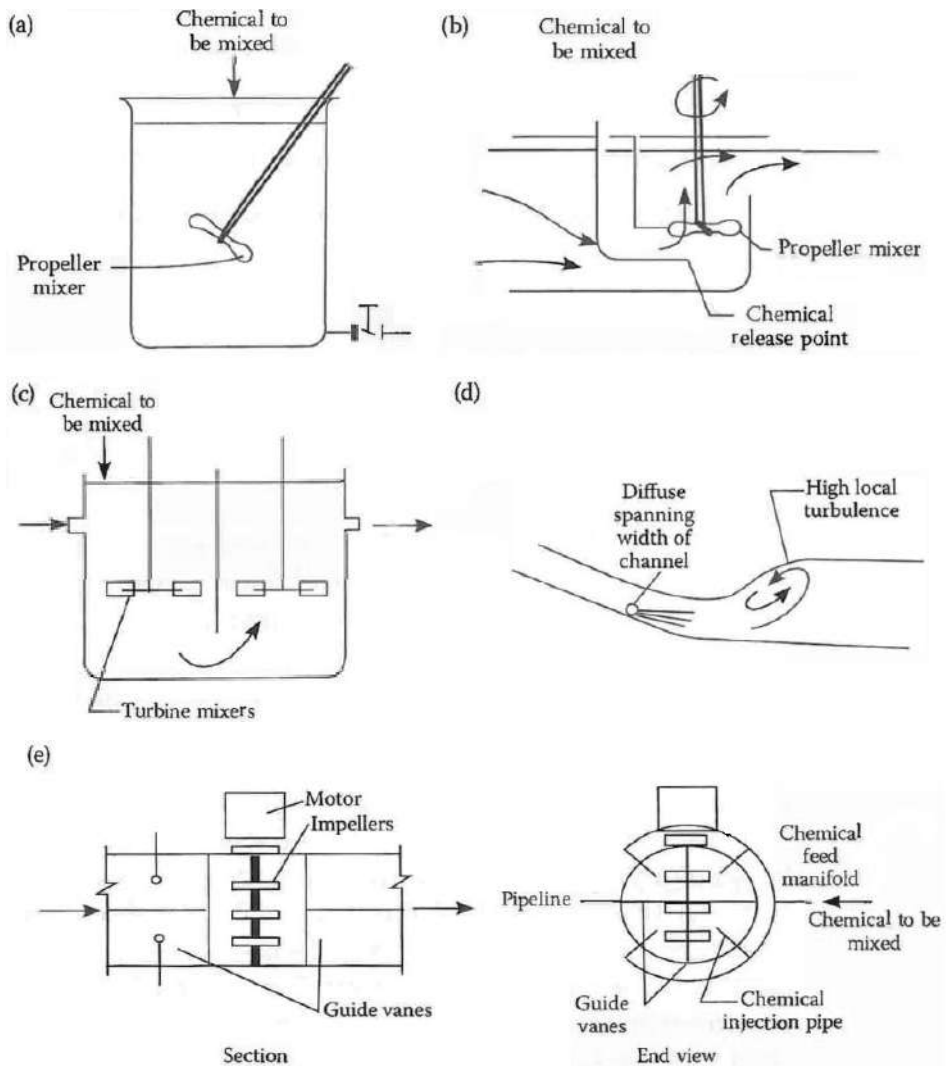
Pengadukan jenis ini biasanya menggunakan *flush mixer* yang berupa motor dengan alat pengaduk berbentuk baling-baling (*propeller*) maupun *paddle*, dengan kecepatan rotasi $< 1,5$ m/detik. Waktu pengadukan standar antara 1-5 menit.

Cara yang lainnya yaitu dengan mendifusikan koagulan ke dalam air baku dengan pompa difusi. Ilustrasi pencampuran dengan pompa difusi dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Pengadukan dengan Pompa Difusi

(Sumber : Said, 2017)



Gambar 19. Metode dan alat pencampur (a) *paddle mixer*, (b) *propeller mixer*, (c) *pneumatic mixer*, (d) *hydraulic mixing*, dan (e) *in-line hydraulic* dan *static mixing*
 (Sumber : Said, 2017)

Beberapa metode pencampuran yang lain diantaranya (1) *paddle mixer*, (2) *propeller mixer*, (3) *pneumatic mixer*, (4) *hydraulic mixing*, dan (5) *in-line hydraulic* dan *static mixing*. Skema pengadukan kelima jenis ini dapat dilihat pada gambar 19.

b) Flokulator

Flokulator berfungsi untuk pembentukan flok-flok agar menjadi besar dan stabil sehingga dapat diendapkan dengan mudah atau disaring. Partikel-partikel kotoran halus maupun koloid yang ada dalam air baku harus digumpalkan menjadi flok-flok yang cukup besar dan kuat untuk dapat diendapkan atau disaring.

Pada dasarnya flokulator merupakan kombinasi antara pencampuran dan pengadukan flok-flok halus pada bak pencampur cepat agar saling bertumbukan dengan partikel atau flok-flok lain sehingga terjadi gumpalan flok yang lebih besar dan stabil untuk mempermudah terjadinya proses pengendapan.

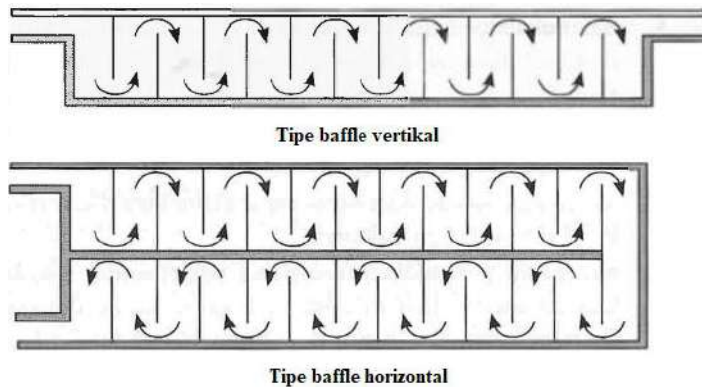
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses flokulasi antara lain:

1. Proses flokulasi harus sesuai dengan cara pengadukan yang dilakukan agar pembentukan flok dapat berjalan dengan efektif.
2. Kecepatan pengadukan di dalam bak flokulator harus bertahap dan kecepatannya makin pelan ke arah aliran keluar (*down stream*) dan waktu pengadukan rata-rata 20-40 menit.
3. Perencanaan peralatan pengadukan didasarkan pada perhitungan gradien kecepatan dalam bak flokulator.

Terdapat dua cara pengadukan dalam proses flokulasi, yaitu pengadukan berdasarkan energi yang ada dalam air dan pengadukan berdasarkan energi mekanik dari luar.

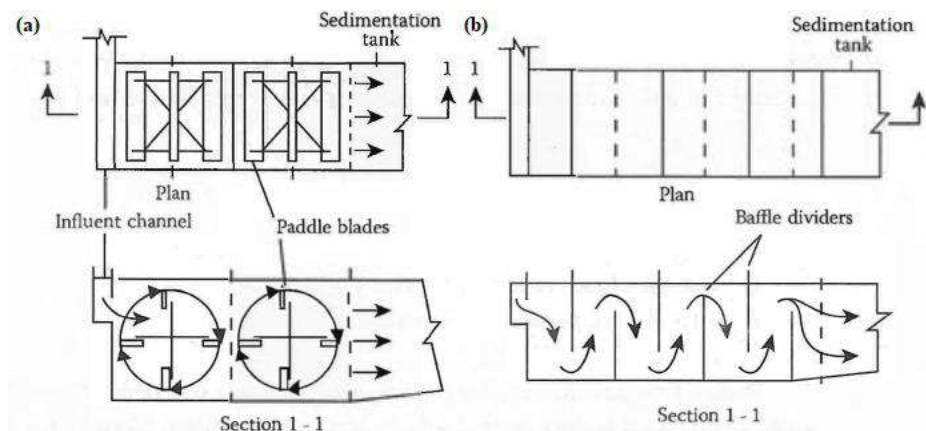
- Pengadukan berdasarkan energi yang ada dalam air

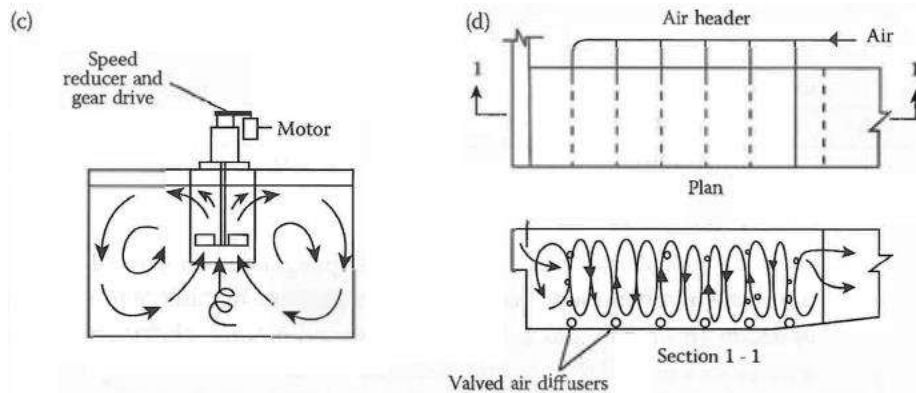
Sistem saluran dengan penyekat baik secara horizontal maupun vertikal merupakan cara yang paling sering digunakan untuk pengadukan tipe ini (gambar 20).



Gambar 20. Bak flokulasi tipe sekat (*baffle*)
(Sumber : Said, 2017)

- Pengadukan berdasarkan energi mekanik dari luar
 Ada beberapa metode pengadukan yang banyak dipakai, antara lain adalah bentuk *paddle* yang digerakkan dengan motor. Selain itu, ada bentuk flokulator tipe *paddle*, dll. seperti yang dapat dilihat pada gambar 21.





Gambar 21. Tipe-Tipe Reaktor untuk Flokulasi
(Sumber : Said, 2017)

Berikut ini merupakan hal-hal yang perlu diperhatikan tentang susunan dan bentuk bak flokulator, yaitu :

1. Bak flokulator harus diletakkan di antara bak pencampur cepat dan bak pengendapan dan lebih baik lagi jika antar bak flokulator bergabung jadi satu.
2. Untuk bak flokulator standar (bentuk persegi panjang), harus dilengkapi dengan peralatan pengadukan atau aliran dengan sekat yang berfungsi untuk mendapatkan hasil optimal.
3. Kecepatan pengadukan harus dapat dikontrol agar dapat disesuaikan dengan kondisi kualitas air bakunya.
4. Kecepatan pengadukan untuk flokulator dengan pengadukan energi mekanik dari luar antara 15--18 cm/detik, sedangkan untuk flokulator tipe aliran dengan sekat kecepatan rata-rata dalam bak antara 15-30 cm/detik.
5. Bentuk dan konstruksi bak flokulator harus sedemikian rupa agar menghindari terjadinya aliran singkat atau aliran stagnan (diam).

6. Bak flokulator harus dilengkapi dengan peralatan untuk penghilangan lumpur atau buih yang mungkin terjadi.

G. Faktor Yang Mempengaruhi Koagulasi-Flokulasi

Dalam pengolahan air bersih, untuk mencapai proses koagulasi - flokulasi yang optimum diperlukan *setting* untuk semua kondisi yang saling berkaitan dan mempengaruhi proses tersebut. Kondisi-kondisi yang mempengaruhi kinerja koagulasi - flokulasi yaitu:

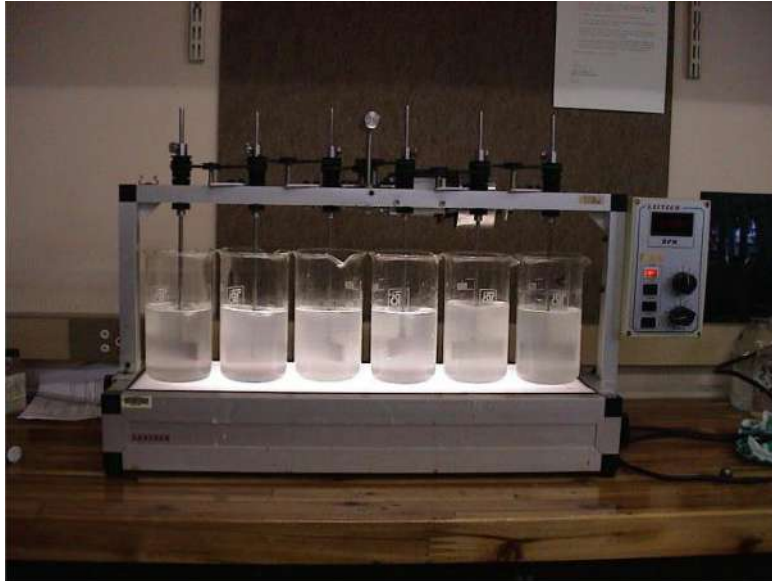
1. Faktor pertama dan yang paling penting adalah dosis koagulan. Koagulan dengan konsentrasi tertentu harus ditambahkan untuk menetralkan muatan partikel-partikel kotoran halus maupun koloid yang ada dalam air baku. Selain itu, konsentrasi koagulan sangat berpengaruh terhadap intensitas tumbukan partikel, sehingga penambahan koagulan harus sesuai dengan kebutuhan untuk membentuk flok-flok. Apabila konsentrasi koagulan yang dibubuhkan terlalu sedikit, maka akan mengakibatkan berkurangnya tumbukan antar partikel sehingga mempersulit pembentukan flok. Dan apabila konsentrasi koagulan terlalu banyak, maka flok tidak akan terbentuk dengan baik dan justru dapat menimbulkan kekeruhan kembali. Air yang jernih dan bukan yang keruh adalah hasil yang diinginkan pada akhir tahap flokulasi.
2. Faktor selanjutnya adalah pH. Suatu proses koagulasi dapat berlangsung secara sempurna jika pH yang digunakan berada pada jarak tertentu sesuai dengan pH optimum koagulan dan flokulan yang digunakan. Dalam banyak kasus, air akan tersangga dengan cukup baik sehingga tidak memerlukan penyesuaian pH. Penyangga umumnya disediakan oleh ion bikarbonat (HCO_3^-) yang pada

gilirannya terurai untuk menyediakan ion hidroksida. Jika kapasitas penyangga kecil, pH mungkin berada di luar kisaran yang diinginkan pada saat koagulan dengan dosis yang cukup telah ditambahkan. Ketika penyesuaian pH diperlukan, natrium karbonat biasanya digunakan dalam proses ini.

3. Faktor ketiga adalah pengadukan. Pengadukan yang baik diperlukan untuk memperoleh koagulasi – flokulasi yang optimum. Pengadukan yang terlalu lamban mengakibatkan waktu pertumbuhan flok menjadi lebih lama, sedangkan jika pengadukan dilakukan terlalu cepat akan mengakibatkan flok-flok yang telah terbentuk menjadi pecah kembali.
4. Faktor yang terakhir adalah temperatur. Temperatur yang rendah akan mengurangi efektivitas proses koagulasi karena terjadi peningkatan viskositas dan perubahan struktur agregat menjadi lebih kecil sehingga justru lolos dari saringan (*filter*), sedangkan pada temperatur tinggi yang mempunyai kerapatan lebih kecil akan mengalir ke dasar kolam dan merusak timbunan lumpur.

H. Operasi Dan Kontrol *Jar Test*

Jar test merupakan serangkaian percobaan simulasi dari proses koagulasi dan flokulasi yang digunakan untuk menurunkan kadar padatan tersuspensi dalam suatu pengolahan air (Satterfield, 2004). Tujuan dari dilakukannya *jar test* adalah untuk menentukan kondisi optimum operasi dari proses koagulasi dan flokulasi. Umumnya, *jar test* dilakukan pada skala laboratorium dan hasil dari percobaannya digunakan sebagai penentuan dosis optimum pada proses pengolahan air yang sebenarnya.



Gambar 22. Alat Jar Test
(Sumber: Schutte, F. 2016)

Dalam analisa pengolahan air, pengujian dengan metode *jar test* sangat umum digunakan untuk menentukan dosis optimal zat koagulan yang harus digunakan, seperti yang dijelaskan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 19-6449 Tahun 2000 (Anonim, 2021). Pengujian *jar test* dilakukan dengan memvariasikan dosis koagulan dalam beberapa gelas kimia yang berisi air limbah dengan volume yang sama, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.8. Dalam menentukan variasi dosis koagulan, umumnya digunakan literatur agar variasi dosis yang digunakan tidak terlalu jauh dari kebutuhan atau dengan kata lain untuk meminimalkan terjadinya *error*. Pada prosesnya, pengujian *jar test* dilakukan dengan mengacu pada literatur, misalnya dalam penentuan kondisi operasi pengadukan (pengadukan cepat maupun pengadukan lambat). Pengadukan cepat umumnya berlangsung selama 1-5 menit, sedangkan pengadukan lambat

umumnya berlangsung selama 10-40 menit. Pengadukan dalam proses ini bertujuan untuk mempercepat homogenasi zat koagulan pada sampel yang diolah (Said, 2017).

Perolehan data dilakukan terhadap jumlah volume endapan yang terbentuk dan/atau nilai kekeruhan yang diambil pada jarak waktu tertentu. Jumlah endapan dan nilai kekeruhan ini kemudian akan menjadi parameter yang dilakukan perbandingan dengan dosis-dosis lain yang dilakukan pengujian, dimana endapan yang paling banyak terbentuk dan/ atau kekeruhan yang paling rendah per waktu tertentu, dianggap sebagai penggunaan dosis koagulan yang paling optimum untuk air baku yang dijadikan sampel pengujian. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam penentuan dosis koagulan yaitu jenis koagulan yang cocok dengan karakteristik air, pH campuran, dan temperatur. Zat koagulan yang biasa digunakan dalam *jar test* antara lain *Poly Aluminum Chloride* (PAC), alumunium sulfat, besi (II) sulfat dan besi (III) sulfat, yang tentunya penentuan zat koagulan ini bergantung pada karakteristik air yang diolah. Selain zat koagulan, analisis juga perlu mempertimbangkan alat flokulator yang tepat untuk hasil yang optimal.

Menurut Zane Satterfield (2004) dalam artikelnya yang berjudul “*Jar Testing*”, pengujian *jar test* dapat diringkas sebagai berikut.

- Untuk setiap sampel air yang dilakukan pengujian, sejumlah gelas pengujian diisi dengan jumlah sampel yang sama tiap gelasnya.
- Setiap gelas pengujian diberikan perlakuan pemberian dosis koagulan yang berbeda-beda.
- Selain dosis, pengujian menggunakan *jar test* juga dapat dilakukan untuk mengetahui parameter lain seperti pengujian terhadap jenis

koagulan yang berbeda, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan lain-lain.

- Hasil penentuan dosis optimum dapat diperoleh dengan membandingkan kualitas akhir dari sampel-sampel yang dilakukan pengujian dengan melakukan variasi dosis koagulan.

Hasil *jar test* mengindikasikan hasil yang baik, apabila memenuhi hal-hal berikut (Anonim, 2019).

- Flok yang terbentuk ukurannya besar dan mudah mengendap.
- Waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan flok dan terjadinya pengendapan terbilang cepat (hanya beberapa detik saja).
- Hasil endapan yang terbentuk rapat, berat, dan tidak mudah pecah.
- Dosis bahan kimia (koagulan) yang digunakan kecil.
- Air yang dihasilkan dari proses *jar test* jernih (tidak keruh).

I. Aplikasi *Jar Test*

Jar test dapat digunakan dalam perancangan suatu instalasi pengolahan air, penentuan intensitas pengadukan, periode pengadukan cepat dan lambat, periode sedimentasi, jenis dan jumlah bahan kimia yang akan digunakan, serta lokasi aplikasinya. Pada instalasi pengolahan yang ada, *jar test* terutama digunakan untuk menentukan kondisi operasional optimum untuk berbagai kualitas air baku, khususnya dosis bahan kimia yang tepat, sementara untuk parameter proses lainnya, kondisi aktual dalam instalasi pengolahan disimulasikan.

Di dalam proses *jar test*, alat analisa merupakan salah satu bagian terpenting dalam penentuan dosis bahan kimia. Alat analisa *jar test* biasanya telah dilengkapi lampu penerang untuk mengamati dan

mengevaluasi pembentukan flok yang terjadi ketika proses koagulasi-flokulasi berlangsung. Selain keberadaan lampu, berikut merupakan hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan alat analisa *jar test* (Anonim, 2021).

1. Jumlah posisi analisa

Jumlah posisi analisa pada *jar test* umumnya berjumlah antara 4 sampai 6. Seperti yang telah diketahui, semakin banyak posisi analisa yang dipilih, maka semakin banyak kapasitas sampel yang dapat diuji. Namun, jika memilih posisi analisa yang lebih banyak dari yang dibutuhkan, maka dapat membuat posisi analisa yang tidak terpakai perlahan semakin berdebu sehingga dapat menimbulkan masalah ketika sistem pengadukan aktif kembali.

2. *Spindle* pengaduk

Spindle pengaduk merupakan bagian paling penting dalam proses homogenasi. Namun, proses koagulasi dan flokulasi yang tidak lepas dari penggunaan zat alkali ataupun asam mengharuskan analis untuk memilih alat flokulator dengan *spindle* yang terbuat dari material yang tahan terhadap korosi. Selain itu, *spindle* yang fleksibel lebih baik dalam penggunaan *jar test*, karena *spindle* tersebut dapat diangkat ke atas langit-langit alat jika posisi tidak sedang digunakan. Hal ini bertujuan untuk mencegah kotornya *spindle* pada posisi yang kosong.

3. Pengatur kecepatan dan waktu analisa

Flokulator umumnya dilengkapi dengan *knob* atau *display* pengatur kecepatan dan waktu analisa. *Knob* dapat berbentuk putaran, atau bisa juga terdapat dalam bentuk sakelar. Namun, penggunaan alat flokulator dengan tombol dan *display* digital akan jauh lebih

memudahkan analisis dalam proses analisa dibandingkan dengan alat flokulator yang menggunakan *knob* putar ataupun sakelar. Tentunya, pemilihan kecepatan dan durasi waktu pada alat menjadi hal yang paling utama untuk dilihat.

4. Material penyusun alat

Dalam hal ini, material pada alat juga dapat berpengaruh pada keberlangsungan analisa. Oleh karena itu, analisis direkomendasikan untuk memilih alat yang tahan terhadap korosi serta tahan terhadap zat kimia. Salah satu rekomendasi material pada alat flokulator yaitu dengan bahan berupa logam yang dilapisi epoksi.

BAB V

SEDIMENTASI - FLOTASI

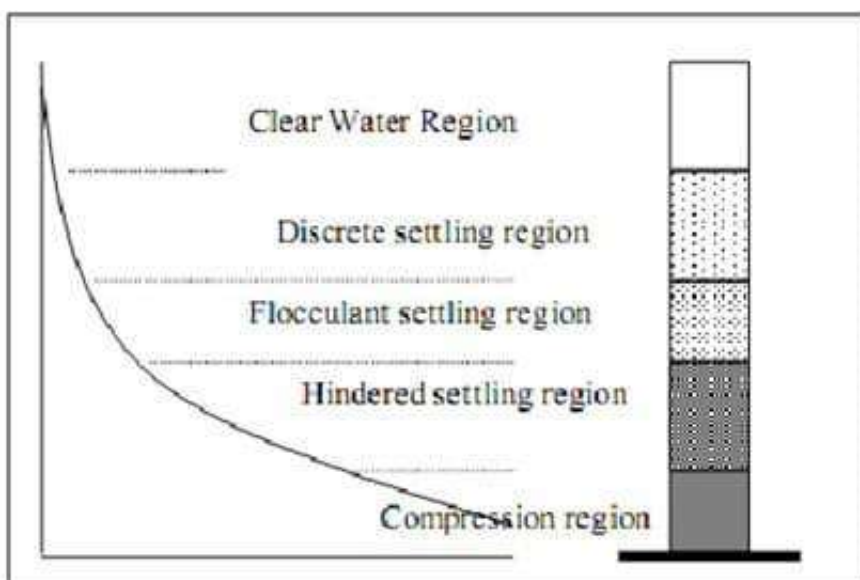
A. Tinjauan Umum

Agregat flok yang terbentuk selama koagulasi-flokulasi dalam pengolahan air konvensional biasanya dikeluarkan dari air dengan cara sedimentasi (atau flotasi) dan penyaringan pasir. Proses sedimentasi adalah proses di mana flok dibiarkan mengendap dari air dan terkumpul di dasar tangki sedimentasi sebagai lumpur, dimana lumpur tersebut kemudian dibuang secara teratur. Air bersih keluar dari tangki sedimentasi melalui bak pengumpul yang terletak di ujung tangki horizontal atau bagian atas tangki sedimentasi vertikal. Agregat flok juga dapat dihilangkan dengan flotasi dan penyaringan pasir. Flotasi adalah proses di mana flok menempel pada gelembung udara kecil yang dimasukkan ke dalam air dan naik ke permukaan dimana pelampung yang mengandung flok dibuang secara teratur. Air bersih diambil dari bagian bawah unit flotasi.

Istilah sedimentasi dan pengendapan digunakan secara bergantian. Tangki sedimentasi juga dapat disebut sebagai bak sedimentasi atau tangki pengendapan. Tangki sedimentasi dapat memiliki bentuk yang berbeda dan dapat berfungsi sebagai tangki pengendapan saja, atau dapat juga menggabungkan flokulasi dan kompresi lumpur. Walaupun desain dari tangki sedimentasi berbeda-beda, tetapi fungsi dasar dari semua jenis tangki tersebut tetap serupa.

B. Deskripsi Proses

Sedimentasi atau pengendapan adalah proses sederhana di mana partikel yang lebih berat dari air mengendap di dasar tangki / wadah tempat suspensi ditahan maupun melalui tempat mengalirnya suspensi. Berdasarkan konsentrasi partikel dan kecenderungan partikel untuk berinteraksi, empat jenis perilaku pengendapan dapat dibedakan menjadi pengendapan partikel diskrit, pengendapan flokulan, penghalang (juga disebut zona pengendapan) dan pengendapan kompresi.



Gambar 23. Ilustrasi Jenis Pengendapan yang Berbeda
(Sumber : Schutte, F. 2016)

Jenis fenomena pengendapan ini dijelaskan pada tabel 19. Seringkali lebih dari satu jenis pengendapan terjadi pada saat yang sama selama proses pengendapan dan tidak jarang keempatnya terjadi secara bersamaan.

Tabel 19. Jenis Perilaku Pengendapan dalam Pengolahan Air Minum.

Jenis fenomena pengendapan	Keterangan
Pengendapan partikel diskrit (Tipe 1)	Partikel yang menetap, mempertahankan satu sama lain, yaitu, mereka tidak menyatu. Oleh karena itu, sifat fisik mereka terjaga seperti bentuk, ukuran dan kepadatan
Pengendapan flokulan (Tipe 2)	Partikel bergabung menetap sementara. Karakteristik partikel berubah, dengan peningkatan ukuran (pembentukan flok) dan, sebagai hasilnya terjadi kecepatan pengendapan
Pengendapan terhambat / Zona pengendapan (Tipe 3)	Apabila ada konsentrasi padatan yang tinggi, akan terbentuk selimut lumpur, yang mengendap sebagai massa tunggal (partikel cenderung untuk tinggal di posisi yang tetap dengan kaitannya dengan partikel sekitarnya). Interface pemisahan yang jelas dapat diamati antara fase padat dan fase cair. Tingkat interface bergerak ke bawah sebagai akibat dari pengendapan selimut lumpur. Dalam hal ini, adalah kecepatan pengendapan interface yang digunakan dalam desain tangki pengendapan.
Pengendapan kompresi (Tipe 4)	Jika konsentrasi padatan bahkan tangki lebih tinggi, pengendapan bisa terjadi hanya dengan kompresi struktur partikel. Kompresi terjadi karena berat partikel, ditambahkan secara konstan karena sedimentasi dari partikel terletak pada cairan supernatan. Dengan kompresi, bagian dari air akan dihapus dari matriks flok, untuk mengurangi volume

(Sumber : Schutte, F. 2016)

Sedimentasi yang efektif dan penghilangan partikel dari air sangat tergantung pada efektivitas proses koagulasi-flokulasi dan pada desain tangki sedimentasi yang tepat. Jika koagulasi (penetralkan muatan

dan destabilisasi) tidak efektif, gaya yang memisahkan partikel akan tetap ada. Sedangkan jika flokulasi tidak efektif, peluang tumbukan antar partikel dan pertumbuhan flok tidak akan optimal sehingga agregat flok besar yang mudah mengendap tidak akan terbentuk. Jika flokulasi-koagulasi efektif tetapi desain tangki sedimentasi tidak tepat maka akan membuat flok yang terbentuk memburuk karena desain saluran masuk yang salah, atau flok tidak dapat mengendap karena kecepatan aliran ke atas yang terlalu tinggi, sehingga air akan tetap keruh.

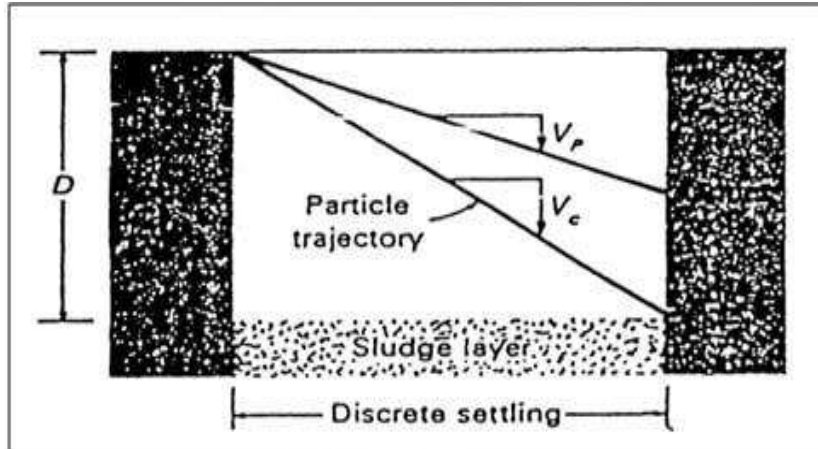
C. Sedimentasi Tipe 1

Sedimentasi tipe I merupakan pengendapan partikel diskrit, yaitu partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk, ukuran maupun berat selama partikel tersebut mengendap. Partikel tersebut dapat mengendap bebas secara individual tanpa membutuhkan adanya interaksi antar partikel, juga tanpa menggunakan koagulan. Proses pengendapan partikel berlangsung semata-mata akibat pengaruh gaya partikel atau berat partikel itu sendiri.

Pengendapan akan berlangsung sempurna apabila aliran dalam keadaan tenang (aliran laminar). Sebagai contoh sedimentasi tipe I antara lain pengendapan lumpur kasar pada bak prasedimentasi untuk pengolahan air permukaan dan pengendapan pasir pada *grit chamber*.

Pengendapan *discrete particle* di dalam air hanya dipengaruhi oleh karakteristik air dan partikel yang bersangkutan. Dalam perhitungan dimensi efektif bak, faktor-faktor yang mempengaruhi *performance* bak seperti turbulensi pada *inlet* dan *outlet*, pusaran arus lokal, pengumpulan lumpur, besar nilai G sehubungan dengan penggunaan perlengkapan pembuangan lumpur dan faktor-faktor lain

diabaikan untuk menghitung *performance* bak yang sering disebut *ideal settling basin*.



Gambar 24. Ideal Settling Basin

(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>)

Partikel yang mempunyai rapat masa lebih besar dari rapat masa air akan bergerak vertikal ke bawah. Gerakan partikel di dalam air yang tenang akan diperlambat oleh gaya hambatan akibat kekentalan air (*drag force*) sampai dicapai suatu keadaan dimana besar gaya hambatan setara dengan gaya berat efektif partikel di dalam air. Setelah itu gerakan partikel akan berlangsung secara konstan dan disebut *terminal settling velocity*. Gaya hambatan yang dialami selama partikel bergerak di dalam air dipengaruhi oleh kekasaran, ukuran, bentuk, dan kecepatan gerak partikel serta rapat masa dan kekentalan air.

D. Sedimentasi Tipe 2

Sedimentasi tipe 2 adalah pengendapan partikel flokulan dalam suspensi encer, di mana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel. Bersatunya beberapa partikel membentuk gumpalan

(*flocculation*) akan memperbesar rapat massanya, sehingga proses pengendapan akan semakin cepat.

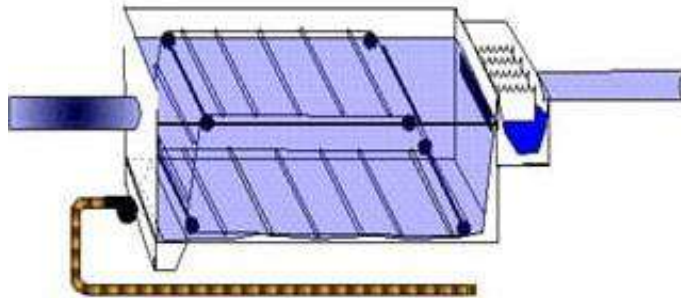
Proses penggumpalan di dalam kolam pengendapan tergantung pada keadaan partikel untuk saling berikatan dan dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti laju pembebanan permukaan, kedalaman kolam, gradien kecepatan, konsentrasi partikel di dalam air dan *range* ukuran butir.

Pengendapan partikel flokulan akan lebih efisien pada ketinggian bak yang relatif kecil. Karena tidak memungkinkan untuk membuat bak yang luas dengan ketinggian minimum, atau membagi ketinggian bak menjadi beberapa bagian, maka alternatif terbaik untuk meningkatkan efisiensi pengendapan bak adalah dengan memasang *tube settler* pada bagian atas bak pengendapan untuk menahan flok–flok yang terbentuk.

Faktor-faktor yang dapat meningkatkan efisiensi bak pengendapan antara lain:

- Luas bidang pengendapan
- Penggunaan *baffle* / sekat pada bak sedimentasi
- Mendangkalkan bak
- Pemasangan plat miring

Sebagai contoh sedimentasi tipe II antara lain pengendapan pertama pada pengolahan air limbah atau pengendapan partikel hasil proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air minum maupun air limbah. *Flocculant settling* banyak digunakan pada *primary clarifier*.



Gambar 25. Primary clarifier

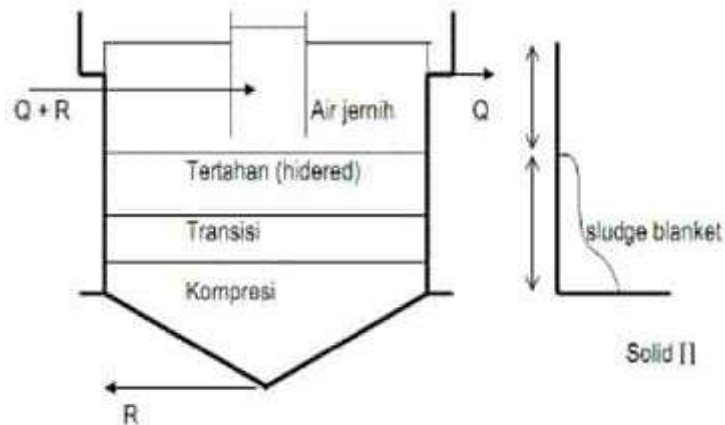
(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>)

E. Sedimentasi Tipe 3 dan Tipe 4

Sedimentasi tipe 3 adalah pengendapan partikel dengan konsentrasi yang lebih pekat, dimana antar partikel secara bersama-sama saling menahan pengendapan partikel lain di sekitarnya (*hindered*). Karena itu pengendapan terjadi secara bersama-sama sebagai sebuah zona dengan kecepatan yang konstan. Pada bagian atas zona terdapat *interface* yang memisahkan antara massa partikel yang mengendap dengan air jernih. *Hindered settling* sebagian besar digunakan di dalam *secondary clarifiers*.

Sedimentasi tipe 4 merupakan kelanjutan dari sedimentasi tipe 3, di mana terjadi pemampatan (kompresi) massa partikel hingga diperoleh konsentrasi lumpur yang tinggi. Pengendapan partikel dilakukan dengan cara memampatkan massa partikel dari bawah. Tekanan (kompresi) terjadi tidak hanya di dalam zona yang paling rendah dari *secondary clarifiers* tetapi juga di dalam tangki *sludge thickening*.

Sebagai contoh sedimentasi tipe 3 dan 4 ini adalah pengendapan lumpur biomassa pada *final clarifier* setelah proses lumpur aktif (gambar 26). Tujuan pemampatan pada *final clarifier* adalah untuk mendapatkan konsentrasi lumpur biomassa yang tinggi untuk keperluan resirkulasi lumpur ke dalam reaktor lumpur aktif.

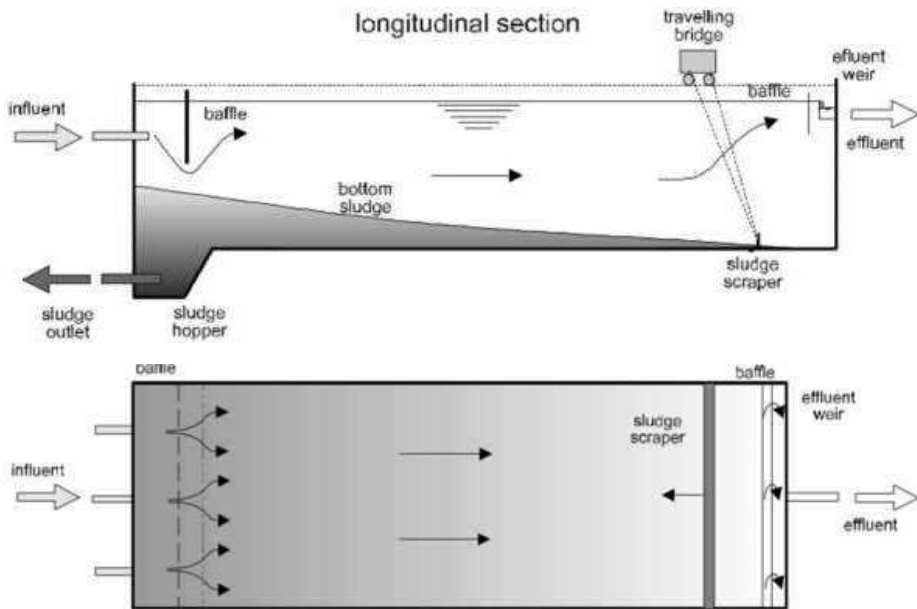


Gambar 26. Pengendapan pada *final clarifier*

(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>)

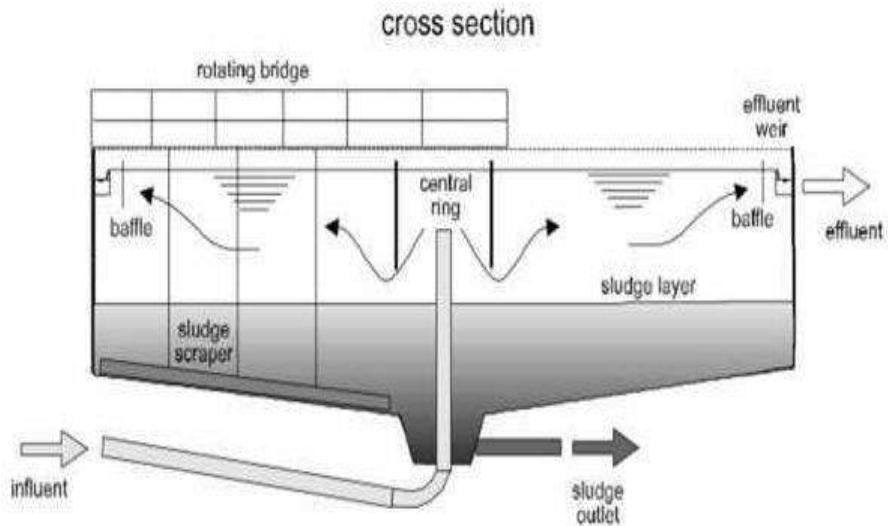
F. Peralatan

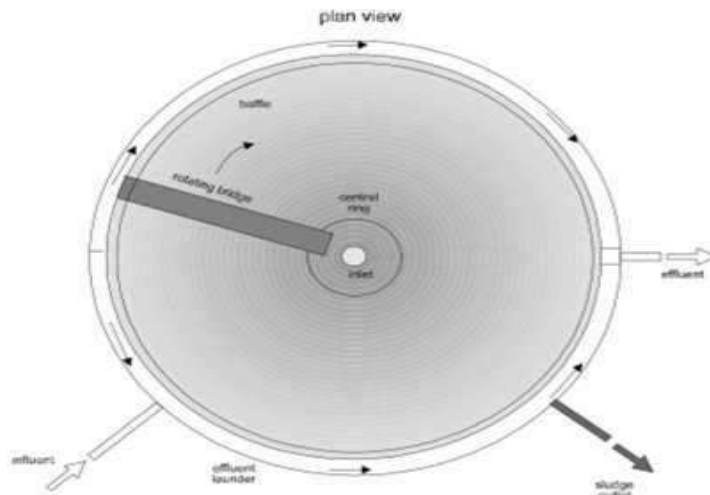
Desain yang paling umum pada tangki sedimentasi adalah tangki aliran horizontal persegi panjang di mana air masuk melalui satu sisi dan keluar di ujung yang lain, serta tangki melingkar dengan dasar datar atau berbentuk kerucut dengan air masuk ke tangki di bagian distribusi pusat dan keluar di bak pengumpul di bagian tengah. Gambar 27 dan gambar 28 menyajikan skema dari dua jenis tangki pengendapan tersebut.



Gambar 27. Tangki sedimentasi persegi empat dengan aliran horizontal

(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>)





Gambar 28. Skematik dari tangki pengendapan melingkar dengan saringan pusat

(Sumber : <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>)

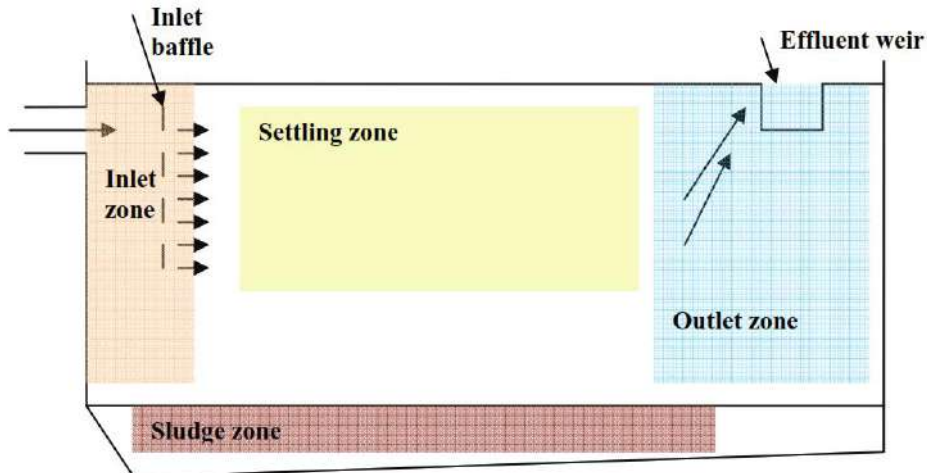
Semua tangki sedimentasi dapat dibagi menjadi empat zona, yaitu zona inlet, zona pengendapan, zona outlet, dan zona untuk pengendapan lumpur. Tujuan dari zona inlet adalah untuk mendistribusikan aliran dan partikel flok tersuspensi secara merata di seluruh penampang zona pengendapan. Biasanya bagian ini terdiri dari serangkaian pipa dan sekat dan dilalui oleh aliran yang didistribusikan ke zona pengendapan. Kecepatan air berkurang saat memasuki zona pengendapan. Desain zona masuk yang tepat penting untuk mencegah kerusakan struktur flok dan untuk mencapai efisiensi penghilangan padatan yang baik. Zona pengendapan adalah bagian terbesar dari tangki sedimentasi dan pengendapan terjadi saat air mengalir dengan kecepatan yang berkurang melalui area aliran yang besar. Kecepatan rendah memungkinkan partikel flok mengendap di zona lumpur dan dikeluarkan dari air yang meninggalkan tangki.

Kecepatan pengendapan dan laju luapan adalah dua parameter penting yang menentukan efisiensi penghilangan padatan di zona pengendapan. Tingkat di mana sebuah partikel mengendap adalah kecepatan pengendapan partikel, sedangkan kecepatan air naik di zona pengendapan adalah laju luapan. Jika partikel akan dihilangkan di zona pengendapan, maka tentunya kecepatan pengendapan harus lebih tinggi dari kecepatan kenaikan air atau laju luapan. Laju luapan (laju aliran naik) merupakan parameter desain yang penting dan memiliki satuan $m^3 / m^2 \cdot d$ atau m/d (aliran air m^3 / d diterapkan per m^2 luas permukaan), atau $m^3 / m^2 \cdot h$ jika aliran dalam m^3 / h . Laju luapan relatif rendah untuk tangki aliran horizontal, dalam kisaran 1-2 m/jam dan lebih tinggi untuk tangki vertikal dengan kisaran 3-5 m/jam.

Zona *outlet* menyediakan area yang luas bagi air untuk meninggalkan tangki sedimentasi sebelum mengalir ke pipa atau saluran air yang menuju ke saringan pasir. Zona *outlet* dirancang sedemikian rupa sehingga air yang mengendap dapat dikeluarkan dari tangki tanpa menarik partikel flok yang telah mengendap. Tujuan dari area yang luas adalah untuk meminimalisir kecepatan aliran sehingga dapat mencegah penggerusan atau pengangkatan flok yang mengendap. Area outlet yang besar diperoleh melalui serangkaian bendung / palung tempat air tertampung atau meluap.

Untuk zona pengendapan lumpur, konfigurasi dan kedalaman zona pengendapan lumpur tergantung pada jumlah lumpur yang dikeluarkan dari air dan metode serta frekuensi pembersihan. Tangki pengendapan yang dibersihkan secara mekanis biasanya memiliki pengikis bawah yang menggores lumpur terus menerus ke hopper

dimana lumpur dipompa keluar. Gambar 29 mengilustrasikan zona yang berbeda dalam tangki sedimentasi horizontal.



Gambar 29. Zona pengendapan dalam tangki sedimentasi horizontal

(Sumber : Schutte, F. 2016)

Sebuah desain khusus dari tangki sedimentasi yang memungkinkan flokulasi berlangsung pada unit disebut sebagai *sludge blanket* (atau *floc blanket clarifier*). *Sludge blanket* terdiri dari bagian atas silinder dengan saluran masuk konsentris dan alas datar atau berbentuk hopper. Air yang telah dikoagulasi diumpankan ke bawah melalui saluran masuk ke dasar tangki. Aliran ke atas yang melalui bagian pengendapan memfasilitasi kontak dengan partikel di zona itu dan memungkinkan terjadinya flokulasi sehingga partikel flok yang besar tetap tersuspensi di dalam tangki. Pada awalnya partikel dalam suspensi terakumulasi secara perlahan tetapi kemudian meningkat seiring peningkatan flokulasi. Hal ini berlanjut ke tingkat akumulasi maksimum yang dibatasi oleh kecepatan aliran ke atas dari air dan karakteristik partikel. Pada kecepatan ini lapisan flok telah terbentuk di

dalam tangki. Level permukaan lapisan flok dikontrol dengan menghilangkan padatan dari *blanket* untuk menjaga zona air jernih antara permukaan lapisan flok dan palung, di mana air jernih kemudian meninggalkan *clarifier*.

G. Aspek Operasional

Sejumlah faktor mempengaruhi kinerja tangki sedimentasi. Faktor-faktor tersebut terbagi dalam dua kategori, yaitu faktor hidrolis dan karakteristik partikel. Aspek hidrolis meliputi laju aliran, waktu tinggal di dalam tangki, ukuran dan bentuk tangki, pengaturan aliran masuk dan keluar, kemungkinan hubungan *short-circuiting*, mekanisme pembuangan lumpur, dan frekuensi pembuangan. Sedangkan berdasarkan karakteristik partikel flok meliputi ukuran, sifat, densitas dan kekuatan flok.

Sedimentasi cocok untuk menghilangkan flok seperti partikel endapan dan lempung yang relatif berat dan mudah mengendap. Namun, sedimentasi tidak efektif dalam menghilangkan flok yang dibentuk oleh flokulasi alga atau bahan organik yang relatif ringan dan tidak mudah mengendap. Flotasi adalah proses yang jauh lebih efektif untuk menghilangkan flok-flok ringan tersebut. Sedimentasi dan flotasi melakukan fungsi yang sama, dengan sedimentasi yang digunakan biasanya ketika air baku terutama mengandung partikel lumpur atau tanah liat, sedangkan flotasi digunakan ketika air baku mengandung ganggang, alga atau jenis bahan organik lainnya.

- Laju pengendapan

Fungsi tangki pengendapan adalah untuk menghilangkan partikel gravitasi yang lebih padat di air. Tingkat di mana partikel akan menetap (v_p) dalam kondisi diam tergantung pada:

- 1) Konsentrasi partikel
- 2) Ukuran dan bentuk partikel. Partikel besar mengendap lebih cepat daripada partikel kecil dan partikel yang teksturnya halus lebih cepat mengendap daripada yang kasar seperti aglomerat.
- 3) Massa jenis relatif partikel terhadap massa jenis air.
- 4) Viskositas cairan. Semakin tinggi viskositas, semakin rendah tingkat pengendapannya. Karena viskositas cairan juga merupakan fungsi dari temperatur, maka semakin dingin suatu cairan, semakin tinggi pula viskositasnya dan dengan demikian semakin rendah laju pengendapan.

- Tingkat luapan permukaan

Salah satu kriteria utama untuk desain dan pengoperasian tangki pengendapan adalah laju luapan permukaan. Laju luapan permukaan merupakan kecepatan aliran air ke atas untuk aliran tertentu (Q) dan luas permukaan air (A) pada tangki pengendapan dan dapat disajikan secara matematis:

$$v_s = Q/A \quad (5.1)$$

Dimana:

v_s = kecepatan aliran air di tangki pengendapan, m/h

Q = laju aliran masuk, m^3/jam

A = luas permukaan air pada tangki pengendapan, m^2

Semua partikel dengan laju pengendapan (v_p) > laju luapan permukaan (v_s), akan mengendap dan dikeluarkan dari aliran influen.

- Waktu tinggal hidrolik

Kemudian ada waktu tinggal hidrolik. Waktu tinggal hidrolik menunjukkan berapa banyak waktu yang dihabiskan air di dalam tangki.

Waktu tinggal hidrolik dihitung sebagai berikut:

$$\tau = V/Q \quad (5.2)$$

Dimana:

τ = waktu tinggal hidrolik, h

V = volume tangki pengendapan, m³

Q = laju aliran masuk, m³/jam

Meskipun waktu tinggal hidrolik secara teoritis tidak berperan dalam efisiensi tangki pengendapan, namun tangki pengendapan yang berukuran lebih besar dengan waktu tinggal hidrolik yang lebih lama memiliki lebih banyak ruang pengendapan untuk lumpur dan umumnya memberikan konsentrasi lumpur yang lebih tinggi.

- Tangki aliran horizontal

Dengan tangki aliran horizontal persegi panjang, air masuk ke tangki di bagian saluran masuk dan air yang mengendap meninggalkan tangki melalui *outlet* di ujung saluran. Pengaturan aliran masuk harus menyesuaikan dengan distribusi aliran yang memaksimalkan kesempatan partikel untuk mengendap. Jika flokulasi telah dilakukan untuk memaksimalkan ukuran partikel flok, maka aliran di saluran masuk tidak boleh mengganggu atau memecah flok. Ini bertujuan untuk meminimalisir kerugian *head* (*head loss*) antara saluran distribusi dan badan utama tangki.

Perbedaan utama antar tangki berhubungan dengan pengaturan *inlet* dan *outlet*; rasio panjang, lebar dan kedalaman serta metode pembuangan lumpur. Untuk tangki aliran horizontal dengan rasio panjang-lebar yang kecil, efek akhir mendominasi efisiensi. Distribusi aliran yang buruk juga dapat berdampak pada arus yang dihasilkan atau kecepatan aliran yang tinggi di dekat bagian bawah tangki. Hal ini dapat menyebabkan gerusan, atau suspensi kembali partikel dari lapisan lumpur yang mengendap. Gerusan dapat menyebabkan pengangkutan padatan di sepanjang bagian bawah tangki ke ujung *outlet*. Kedalaman tangki yang ideal tidak $< 2,5$ m yang berfungsi untuk membatasi gerusan.

Untuk frekuensi pembuangan lumpur, tergantung pada tingkat akumulasi lumpur yang terjadi. Hal ini dapat diperkirakan dengan perhitungan neraca massa untuk menentukan frekuensi pembuangan. Terkadang, proses dekomposisi bahan organik dalam lumpur memerlukan pembuangan lumpur yang lebih sering. Dekomposisi dapat menghasilkan gelembung-gelembung gas yang mengganggu endapan dan menyebabkan penurunan terhadap kekeruhan air yang mengendap.

Frekuensi pembuangan lumpur yang paling baik sering dilakukan dengan pengikis lumpur mekanis yang menyapu lumpur ke *hopper* di ujung *inlet* tangki. Pembuangan yang sering dilakukan menghasilkan perawatan yang mudah dari efisiensi volumetrik tangki, dan efisiensi keluaran yang lebih baik dengan operasi berkelanjutan.



Gambar 30. Tangki sedimentasi horizontal
(Sumber : Schutte, F. 2016)

H. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Sedimentasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi sedimentasi dijelaskan dalam bagian berikut

- *Surface loading* (pembebanan permukaan)

Surface loading (pembebanan permukaan) pada tangki sedimentasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi efisiensi sedimentasi. Pembebanan permukaan dinyatakan sebagai laju aliran per luas permukaan tangki tempat pengendapan terjadi. Kualitas air yang mengendap biasanya memburuk ketika beban permukaan meningkat. Perubahan laju aliran dapat mempengaruhi kinerja flokulasi serta efisiensi sedimentasi. Laju pembebanan permukaan yang tinggi diinginkan dari sudut pandang biaya, tetapi efisiensi kemudian akan lebih sensitif terhadap variasi yang terjadi pada pembebanan permukaan, kualitas air dan kondisi lingkungan.

Untuk semua jenis pengendapan, kecepatan aliran yang cukup rendah pada saluran atau pipa harus diatasi untuk menghindari terjadinya pengendapan sebelum waktunya. Sebaliknya, aliran yang cukup tinggi juga harus dihindari karena dapat mengganggu dan memecah agregat flok.

Baffle (sekat) berguna dalam tangki aliran horizontal di *inlet* dan *outlet* untuk membantu distribusi aliran, secara longitudinal untuk meningkatkan rasio panjang-lebar, dan sebagai pengarah untuk membantu perubahan arah aliran horizontal.

- Partikulat dan kualitas air

Efisiensi sedimentasi dapat bervariasi dengan perubahan temperatur yang dipengaruhi oleh musim, alkalinitas dan parameter serupa, serta dengan perubahan warna dan kekeruhan yang terkoagulasi.

Temperatur mempengaruhi efisiensi melalui laju reaksi kimia, kelarutan, serta viskositas air yang berdampak pada kecepatan pengendapan partikel dan kemungkinan nilai densitas. Perubahan alkalinitas, warna, kekeruhan dan konsentrasi ortofosfat untuk perairan eutrofik mempengaruhi reaksi koagulasi dan sifat serta kecepatan pengendapan partikel flok yang dihasilkan.

Kecepatan pengendapan partikel dipengaruhi oleh berbagai karakteristik partikel, terutama ukuran, bentuk dan densitas. Pemilihan koagulan, dosis dan kondisi flokulasi mempengaruhi karakteristik partikel flok. Dosis kimia yang optimum untuk sedimentasi dapat ditentukan dengan *jar test* yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Efisiensi tangki sedimentasi dengan aliran horizontal tergantung pada flokulasi yang tepat terhadap air hasil koagulasi. Di sisi lain, efisiensi unit *sludge blanket* tergantung pada pencampuran efektif bahan kimia dengan air untuk flokulasi yang terjadi di tangki. Pencampuran membantu terjadinya dispersi kimia, flokulasi, suspensi ulang padatan dan distribusi aliran. Karena ini dapat bertentangan satu sama lain, laju pencampuran harus disesuaikan ketika terjadi perubahan pada laju aliran.

Alat bantu flokulan seperti polielektrolit dapat meningkatkan efisiensi sedimentasi dengan meningkatkan kekuatan dan ukuran flok. *Jar test* dapat digunakan untuk memilih polielektrolit yang sesuai dan menentukan kisaran dosis percobaan. Namun dosis optimal harus ditentukan secara hati-hati dengan pengujian skala penuh. Dosis yang berlebih menghasilkan air endapan yang mungkin dapat merusak filter.

- Angin dan nilai densitas

Angin dapat menyebabkan sirkulasi yang tidak diinginkan dalam tangki aliran horizontal. Efek angin harus diminimalkan dengan membangun tangki agar sejajar dengan angin yang berhembus. Angin kencang dapat mengganggu stabilitas lapisan flok. Hal ini dapat diatasi dengan menutupi tangki dengan atap, membangun penahan angin di sekitar tangki, atau memasang penyekat yang terendam seluruhnya dalam air supernatan.

Radiasi matahari yang tinggi dapat menyebabkan perubahan diurnal pada temperatur dan kepadatan air. Perubahan densitas yang cepat karena temperatur, konsentrasi padatan, atau salinitas

menyebabkan arus densitas yang berakibat pada hubungan arus pendek dan mengurangi efisiensi dalam tangki horizontal.

- Limbah yang dihasilkan

Lumpur yang dikeluarkan dari tangki sedimentasi adalah limbah utama yang dihasilkan di instalasi pengolahan air. Lumpur terdiri dari bahan tersuspensi dan koloid yang dikeluarkan dari air bersama dengan endapan yang dibentuk oleh koagulan dan flokulan. Sifat lumpur sangat ditentukan oleh koagulan yang digunakan, misalnya sifat lumpur kapur sangat berbeda dengan sifat lumpur yang dihasilkan dari besi klorida sebagai koagulan.

Lumpur ditarik dari tangki sedimentasi dan kemudian dapat dikentalkan sebelum dibuang atau dibuang langsung. Konsentrasi lumpur yang dihasilkan menentukan volume aktual yang akan dibuang. Lumpur tawas biasanya memiliki konsentrasi padatan rendah $<1\%$ m/v sedangkan lumpur kapur dapat memiliki konsentrasi padatan hingga 4 atau 5% m/v.

Lumpur dapat dikentalkan untuk mengurangi volume yang akan dibuang. Hal ini biasanya dilakukan dalam tangki pengental melingkar yang menghasilkan lumpur tawas dengan kekentalan sekitar 3% m/v konsentrasi padatan dan lumpur kapur 20-22% m/v padatan di bawah aliran.

Lumpur biasanya dibuang di laguna lumpur pada *plant* yang lebih kecil. Laguna lumpur hanyalah sebuah lubang besar dengan kapasitas yang cukup untuk menyimpan lumpur untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Bagian dasar laguna harus kedap air untuk mencegah pencemaran air tanah. Penyediaan laguna kedua

untuk menghilangkan lumpur harus dilakukan ketika kapasitas pada laguna pertama telah tercapai. Lumpur tersebut kemudian dapat dibuang di tempat pembuangan akhir. Lumpur yang telah dikeringkan juga dapat dibuang di tempat pembuangan akhir. *Dewatering* dilakukan di tempat pengeringan lumpur atau dengan alat *dewatering* seperti *belt press*.

- Pertimbangan operasional

Karena tidak ada penambahan bahan kimia atau reaksi kimia yang terjadi dalam tangki sedimentasi, beberapa keahlian dasar diperlukan untuk pengoperasiannya. Beberapa hal utama yang harus diperhatikan dalam operasionalnya antara lain:

- a) Memastikan aliran masuk dan distribusi air yang terflokulasi ke dalam tangki secara merata. Distribusi air flokulasi di tangki sedimentasi terutama ditentukan oleh desain. Oleh karena itu, operator harus mengamati aliran dan sifat flok. Jika terbukti ada masalah pada distribusi aliran, operator harus menyelidiki kemungkinan masalah seperti penyumbatan di saluran atau pipa saluran masuk dan membersihkannya jika perlu.
- b) Pastikan mekanisme pengikisan dan jembatan penggerak berfungsi dengan baik. Pemeliharaan harus dilakukan sesuai jadwal untuk memastikan semuanya berfungsi dengan baik. Inspeksi visual secara teratur juga diperlukan untuk mendeteksi kemungkinan masalah mekanis. Jika terjadi masalah mekanis, peralatan harus dihentikan dan melakukan panggilan terhadap staf pemeliharaan.

- c) Lumpur harus dipompa secara teratur dari tangki sesuai dengan petunjuk pengoperasian. Jika lumpur dibiarkan terlalu lama di dalam tangki, itu bisa menjadi terlalu kental dan menyebabkan masalah pada pompa. Apabila itu terjadi, maka lumpur yang mengendap dapat terbawa dan menyebabkan penurunan kualitas air yang mengendap. Jika lumpur dipompa terlalu sering, lumpur bisa menjadi sangat tipis, mengakibatkan kerugian air yang tinggi dan pengisian bendungan lumpur atau laguna menjadi lebih cepat.
- d) Bagian sisi dan bendungan luapan tangki sedimentasi harus dijaga bebas dari alga dan pertumbuhan organisme lain dengan menyikat dan membersihkan secara teratur. Pertumbuhan alga dapat menyebabkan masalah rasa dan bau serta menimbulkan kesan buruk pada proses operasi dan kontrol.
- e) Kekeruhan luapan dari setiap tangki harus dipastikan secara teratur. Jika kekeruhan melebihi nilai yang ditetapkan, penyebab kinerja yang buruk harus dipecahkan dan tindakan korektif harus diambil. Kemungkinan penyebabnya termasuk peningkatan aliran masuk ke tangki sedimentasi sebagai akibat dari peningkatan produksi atau karena masalah distribusi aliran antar tangki. Kemungkinan penyebab lain yaitu frekuensi pemompaan lumpur atau angin atau nilai densitas yang terlalu rendah.
- f) Jika kinerja masih saja buruk, maka lakukan pemeriksaan terhadap volume aliran masuk, hitung kecepatan aliran naik, periksa distribusi aliran masuk, periksa koagulasi, periksa flokulasi dan perbaiki jika perlu.

I. Flotasi (*Flotation*)

Flotasi adalah unit operasi yang dipergunakan untuk memisahkan partikel *solid* atau *liquid* dari fase *liquid* dengan cara mengapungkan massa *solid* atau *liquid* tersebut. Atau lebih singkatnya, flotasi adalah proses pemisahan flok-flok dan warna pada air dengan cara diapungkan ke atas. Mekanisme flotasi didasarkan pada adanya partikel mineral yang dibasahi (hidropilik) dengan partikel mineral yang tidak dibasahi (hidropobik). Partikel-partikel yang basah tidak mengapung dan cenderung tetap berada dalam fasa air. Di lain pihak partikel – perikel hidropobik (tidak dibasahi) menempel pada gelembung, naik ke permukaan, membentuk buih yang membentuk partikel dan dipisahkan.



Gambar 31. Pemisahan *Solid-Liquid* dengan Cara Flotasi
(Sumber: <https://www.evoqua.com/>)

Secara garis besarnya pemisahan dengan cara flotasi dilakukan dengan menggunakan dua tahap, yaitu tahap *conditioning* dan tahap pengapungan mineral (flotasi). Pada tahap *conditioning* bertujuan untuk membuat suatu mineral tertentu bersifat hidropobik dan mempertahankan mineral lainnya bersifat hidropilik. Pada tahap *conditioning* ini ke dalam *pulp* dimasukkan beberapa reagen flotasi.

Sedangkan pada tahap flotasi atau aerasi adalah tahap pengaliran udara ke dalam *pulp* secara mekanis baik agitasi maupun injeksi udara.

Flotasi merupakan unit operasi yang dipergunakan untuk memisahkan partikel *solid* atau *liquid* dari fase *liquid* dengan cara mengapungkan massa *solid* atau *liquid* tersebut. Flotasi melibatkan pembentukan gelembung udara kecil dalam air yang telah dikoagulasi. Gelembung menempel pada flok dan menyebabkan mereka naik ke permukaan di mana mereka dikumpulkan sebagai buih yang dikeluarkan dari bagian atas unit flotasi. Udara dilarutkan di bawah tekanan dalam sejumlah kecil air pada alat yang disebut saturator. Air yang jenuh dengan udara terlarut ini ditambahkan ke aliran utama air yang akan diolah. Ketika tekanan dilepaskan setelah air jenuh dicampur dengan air yang akan diolah, udara terlarut keluar dari larutan dalam bentuk gelembung yang sangat halus.

Baik sedimentasi maupun flotasi berfungsi untuk menghilangkan sebagian besar flok dari air. Namun, sejumlah kecil flok pecah atau bahan koloid non-flokulasi tetap berada di dalam air. Bahan ini harus dihilangkan untuk memastikan kekeruhan yang cukup rendah di dalam air. Tingkat kekeruhan yang cukup rendah diperlukan untuk desinfeksi air yang efektif. Untuk memastikan kekeruhan ke tingkat yang lebih rendah lagi dapat dicapai dengan cara penyaringan pasir (*sand filtration*).

Berdasarkan operasinya, flotasi dapat dikategorikan dua macam, yaitu:

- *Natural flotation:*

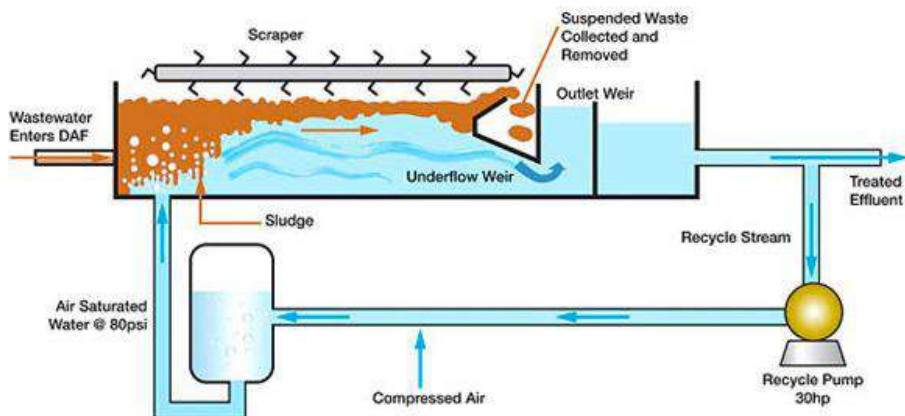
Yaitu flotasi yang terjadi karena densitas partikel (*solid/liquid*) lebih kecil daripada densitas air (*liquid*), sehingga dapat mengapung

tanpa bantuan bahan lain. Flotasi alami ini biasanya dipergunakan untuk proses awal pemisahan minyak.

- *Aided flotation:*

Yaitu flotasi dengan bantuan gelembung udara. Udara dalam bentuk gelembung diberikan ke dalam air sehingga terjadi penempelan pada partikel yang menyebabkan gaya buoyant meningkat sehingga partikel terangkat ke permukaan. Ada tiga metode pemberian gelembung udara ke dalam air, yaitu:

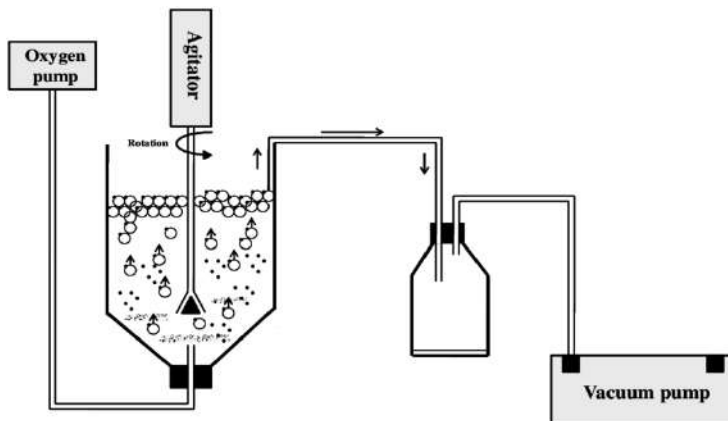
1. Injeksi udara ke dalam air di bawah tekanan (sampai beberapa atmosfer) hingga udara terlarut dalam air, diikuti oleh pelepasan tekanan (disebut *dissolved-air flotation*). Pada sistem *dissolved-air flotation* (DAF) skala kecil, diperlukan tekanan pompa sekitar 275 - 350 kPa. Air dibiarkan tinggal dalam tangki bertekanan pada beberapa menit agar udara terlarut dalam air. Air bertekanan ini selanjutnya dialirkan ke tank flotasi. Mekanisme DAF dapat dilihat pada gambar 32.



Gambar 32. Mekanisme *Dissolved-Air Flotation*
(Sumber : <https://www.iseparation.com/images/daf2.jpg>)

Berikut ini merupakan beberapa penerapan *dissolved-air flotation* (DAF) untuk pengolahan air.

- Pemisahan flok pada proses klarifikasi/penjernihan.
 - Pemisahan dan perolehan kembali serat pada efluen pabrik kertas.
 - Pemisahan minyak terflokulasi atau tidak terflokulasi dalam air limbah yang terdapat pada efluen refineri, airport dan pabrik baja.
 - Pemekatan lumpur dari pengolahan biologi air limbah atau dari proses klarifikasi air minum.
 - Klarifikasi cairan lumpur aktif
2. Injeksi udara ke dalam air dalam tangki tertutup untuk menjenuhkan air dengan gas, diikuti pemompaan vacuum yang menyebabkan gas keluar dari larutan dan flotasi terjadi (disebut *vacuum flotation*).



Gambar 33. *Vacuum flotation*
(Sumber : Bendaha, 2016)

Pada jenis flotasi ini proses yang terjadi adalah pelarutan udara di dalam air buangan pada tekanan atmosfer, lalu divakumkan dengan tekanan yang lebih rendah sehingga akan menurunkan kelarutan udara dalam air. Kemudian udara akan keluar dari larutan dalam bentuk gelembung-gelembung halus.

Untuk tujuan pengolahan air minum, baik dengan penggunaan flotasi maupun sedimentasi, sebagai langkah pemolesan akhir tentunya air tetap harus disaring. Untuk tujuan klarifikasi, fungsi flotasi dan filter terkadang memungkinkan untuk digabungkan menjadi satu unit proses. Proses ini umumnya dikenal sebagai *Flofilter* di Eropa dan sebagai *Sandfloat* di Amerika Serikat. Tidak ada perbedaan antara air yang mengendap dan yang terapung sejauh efeknya pada langkah filtrasi berikutnya diperhatikan.



Gambar 34. Kombinasi Proses Flotasi dan Filtrasi

(a) *Flofilter* (b) *Sandfloat*

(Sumber : <https://www.environmental-expert.com/products/>)

J. Elemen flotasi

Elemen-elemen berikut sangat berkaitan dan terlibat dalam proses flotasi, antara lain:

- *Pre-treatment* kimiawi dalam bentuk koagulasi-flokulasi biasanya diperlukan untuk flotasi yang efektif. Sejumlah besar partikel flok yang relatif kecil dan terdestabilisasi harus terbentuk selama proses flokulasi yang dapat dengan mudah mengapung ke permukaan. Dan sebaliknya, pada sedimentasi justru membutuhkan partikel flok besar yang dapat mengendap dengan mudah.
- Flotasi lebih kompleks daripada sedimentasi karena ada tiga fase yang terlibat, yaitu padat, cair dan gas. Partikel flokulasi padat bersentuhan dengan sejumlah besar gelembung udara di zona reaksi flokulator. Di zona ini harus terbentuk aglomerat partikel-gelembung yang stabil yang dapat mengapung ke permukaan. Mekanisme yang terlibat dalam pembentukan gumpalan-gumpalan flok antara lain adhesi gelembung ke permukaan flok, terperangkapnya gelembung dalam flok yang telah terbentuk sebelumnya, adsorpsi gelembung ke dalam flok, serta pertumbuhan gelembung pada inti dalam flok.
- Sejumlah besar gelembung udara berukuran mikro diperlukan untuk flotasi. Produksi gelembung ini terdiri dari abstraksi dan pemompaan air yang telah diolah (*recycle*) melalui sistem saturator udara dan injeksi air *super-saturated* ke dalam zona reaksi. Proses ini dicapai dengan secara mendadak melepaskan tekanan aliran daur ulang dari sekitar 350-500 kPa ke tekanan atmosfer. Sekitar 10% dari air yang diklarifikasi didaur ulang ke dalam sistem saturasi udara. Air dipompa melalui perangkat injeksi seperti eduktor yang

memasukkan udara bertekanan tinggi ke dalam sistem. Air jenuh mengalir ke sistem dispersi di mana tekanan dilepaskan dan gelembung mikro terbentuk.

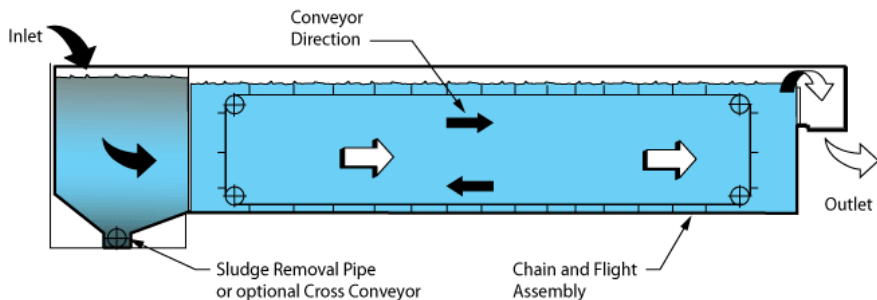
- Ukuran gelembung sangat penting. Gelembung yang terlalu besar akan naik dengan cepat dan menghasilkan kinerja yang buruk. Sedangkan, gelembung yang terlalu kecil akan menambah ukuran dan biaya tangki flotasi. Gelembung harus berada di sekitar 50 μm , dalam kisaran 10 μm – 100 μm .
- Air yang terflokulasi harus dimasukkan secara merata di ujung tangki dekat bagian bawah ke dalam zona dispersi.
- Gelembung yang mengapung dan flok bertemu di permukaan tangki di mana mereka akan membentuk *float* yang stabil dan terus menebal. *Float* dihilangkan secara teratur dengan proses mekanis atau hidrolis.

K. Pertimbangan operasional

Beberapa pertimbangan operasional yang harus diperhatikan dalam proses flotasi antara lain:

1. Aliran dan tekanan harus dikontrol sesuai petunjuk pengoperasian. Ada tiga koneksi eksternal ke saturator, yaitu *recycle inlet*, *recycle outlet* dan *air inlet*. Ketinggian air di dalam saturator harus dikontrol, dengan melakukan kontrol pada *recycle inlet* dan *recycle outlet* untuk mempertahankan laju aliran yang konstan melalui saturator. Ketinggian air kemudian dikontrol di antara dua batas yang ditetapkan dengan menutup katup saluran masuk udara ketika level minimum tercapai dan membukanya kembali saat level maksimum tercapai.

2. Pembuangan kandungan *solid* yang terapung dapat dilakukan secara mekanis atau hidrolis. Pembuangan secara mekanis dapat menggunakan *chain-flight collector* yang dalam pengoperasiannya tentu saja memerlukan pemeliharaan secara berkala dan inspeksi visual untuk memastikan operasi selalu berjalan efektif. Sistem *chain-flight collector* menghilangkan lumpur yang berada di dasar dan memindahkannya ke *hopper* lumpur di ujung influen dan di saat bersamaan clarifier bekerja menyaring buih permukaan yang mengambang dan membuangnya melalui saluran pembuangan buih.



(a)



(b)

Gambar 35. Chain-flight collector (a) Mekanisme (b) Tampilan visual

(Sumber : <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/sludge-collectors/>)

3. *Float* juga dapat dihilangkan secara hidrolik dengan membanjirinya. Hal ini dilakukan dengan menutup sebagian pintu air limbah atau dengan menaikkan bendungan limbah. Kenaikan muka air mengangkat permukaan di atas bendung yang dibuang ke saluran pembuangan lumpur. Ketika sebagian besar *float* telah dibuang, gerbang dibuka kembali atau bendung dijatuhkan dan pengoperasian kembali ke mode flotasi.

BAB VI

FILTRASI

A. Tinjauan Umum

Beberapa bentuk filtrasi akan selalu ditemukan di instalasi pengolahan air. Di saat koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan flotasi memainkan peran penting dalam menghilangkan sebagian besar partikel dari air baku, tetap saja proses-proses tersebut tidak akan dapat memenuhi standar kualitas yang ketat yang diperlukan untuk air minum. Filtrasi adalah proses yang mampu menghilangkan partikel yang sangat kecil hingga ke level yang dibutuhkan.

Selama bertahun-tahun, filtrasi telah dipandang sebagai langkah sederhana untuk menyelesaikan rantai proses pengolahan air, dimana proses tersebut dimulai dengan pemberian sejumlah dosis kimia dan diakhiri dengan filtrasi. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, muncul sebuah hal penting dari filtrasi, karena ternyata proses ini adalah satu-satunya proses yang dapat sepenuhnya diandalkan untuk menghilangkan sejumlah bahaya kesehatan yang baru ditemukan, seperti kista protozoa dan ookista yang umum terdapat pada sebagian besar sumber air baku di dunia. Oleh karena itu, standar yang lebih tinggi untuk kinerja filtrasi telah diadopsi secara global dan memandang fasilitas filtrasi pada *plant* mereka sebagai proses yang penting dalam utilitas pasokan air.

B. Prinsip Kerja Filtrasi

Filtrasi adalah pemisahan koloid atau partikel *solid* dari fluida dengan menggunakan media penyaringan. Air yang mengandung suatu padatan atau koloid dilewatkan pada media saring dengan ukuran pori-pori yang lebih kecil dari ukuran padatan tersebut. Filtrasi bekerja dengan memisahkan zat padat dari fluida yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid. Filtrasi juga berguna untuk mereduksi bakteri, menghilangkan warna, rasa, bau, kandungan besi serta mangan dalam air.

Dalam proses filtrasi, partikel padatan yang tersuspensi dalam cairan dipisahkan dengan menggunakan medium berpori yang dapat menahan partikel tersebut dan dapat dilewati oleh filtrat yang jernih. Medium berpori ini biasanya disebut filter media. Partikel padat dapat berukuran sangat kecil atau lebih besar, dan bentuknya beraneka ragam, dapat berbentuk bola ataupun tak beraturan. *Slurry* yang difiltrasi dapat mengandung partikel padatan dalam jumlah sedikit maupun banyak. Jika konsentrasi padatan dalam *slurry* terdapat dalam jumlah yang kecil, filter dapat beroperasi dalam waktu yang lebih lama. (Geankoplis, 1983).

Filtrasi dapat dibedakan menjadi filtrasi dengan aliran vertikal dan filtrasi dengan aliran horizontal. Filtrasi dengan aliran vertikal dilakukan dengan membagi limbah ke beberapa *filter-bed* (2 atau 3 unit) secara bergantian. Pembagian limbah secara bergantian tersebut dilakukan dengan pengaturan *dosing* yang dilakukan operator. Karena pembagian secara bergantian itulah yang menyebabkan pengoperasian sistem ini rumit, sehingga tidak praktis dalam pengaplikasiannya.

Sedangkan filtrasi dengan aliran horizontal dilakukan dengan mengalirkan limbah melewati media filter secara horizontal. Cara ini sederhana dan praktis, tidak membutuhkan perawatan, khususnya bila didesain dan dibangun dengan baik. Filtrasi dengan aliran vertikal dan horizontal mempunyai prinsip kerja yang berbeda. Filtrasi horizontal secara permanen terendam oleh air limbah dan proses yang terjadi adalah sebagian aerobik dan sebagian anaerobik. Sedangkan pada filtrasi vertikal, proses yang terjadi cenderung anaerobik (Oxtoby, 2016).

Dalam prosesnya, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi dari proses filtrasi. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1) Debit filtrasi

Debit yang terlalu besar akan menyebabkan filter tidak berfungsi secara efisien, sehingga proses filtrasi tidak dapat terjadi dengan sempurna akibat adanya aliran air yang terlalu cepat saat melewati rongga di antara butiran media pasir. Hal ini menyebabkan berkurangnya waktu kontak antara permukaan butiran media penyaring dengan air yang akan disaring. Kecepatan aliran yang terlalu tinggi saat melewati rongga antar butiran menyebabkan partikel-partikel yang terlalu halus akan lolos.

2) Konsentrasi kekeruhan

Konsentrasi kekeruhan sangat mempengaruhi efisiensi dari filtrasi. Konsentrasi kekeruhan air baku yang sangat tinggi menyebabkan tersumbatnya lubang pori dari media (*clogging*). Dalam melakukan filtrasi sering dibatasi seberapa besar konsentrasi kekeruhan dari air baku (konsentrasi air influen) yang boleh masuk. Jika konsentrasi kekeruhan terlalu tinggi, harus dilakukan pengolahan terlebih

dahulu, seperti dilakukan proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi.

3) Ketebalan media, ukuran, dan material

Ketebalan media akan menentukan lamanya pengaliran dan daya saring. Media yang terlalu tebal biasanya mempunyai daya saring yang sangat tinggi, tetapi membutuhkan waktu pengaliran yang lama. Sebaliknya media yang terlalu tipis selain memiliki waktu pengaliran yang pendek, kemungkinan juga memiliki daya saring yang rendah. Demikian pula dengan ukuran besar kecilnya diameter butiran media filtrasi berpengaruh pada porositas, laju filtrasi, dan juga kemampuan daya saring, baik itu komposisinya, proporsinya, maupun bentuk susunan dari diameter butiran media. Kasar atau halusya media akan menimbulkan variasi dalam ukuran rongga antar butir. Ukuran pori sendiri menentukan besarnya tingkat porositas dan kemampuan menyaring partikel halus yang terdapat dalam air baku. Lubang pori yang terlalu besar akan meningkatkan laju filtrasi dan juga menyebabkan lolosnya partikel halus yang akan disaring. Sebaliknya lubang pori yang terlalu halus akan meningkatkan kemampuan menyaring partikel dan dapat menyebabkan *clogging* terlalu cepat.

C. Jenis-Jenis Filtrasi

Proses filtrasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, seperti dapat dilihat pada gambar 36.



Gambar 36. Skema Metode Filtrasi

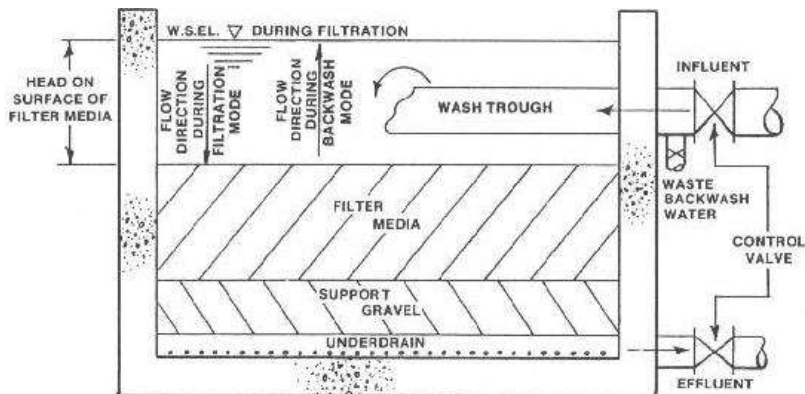
Berdasarkan kecepatan penyaringan, filtrasi dibagi menjadi dua jenis, antara lain :

1) **Rapid Sand Filter (Saringan Pasir Cepat)**

Rapid sand filters pertama kali didesain oleh George W. Fuller di Little Falls, New Jersey Amerika pada tahun 1920-an. Design ini banyak digunakan di sistem pengolahan air pemerintah Amerika di berbagai tempat sejak kesuksesannya di tahun tersebut, karena desain ini tidak membutuhkan tempat yang luas dibandingkan *slow sand filter*.

Rapid sand filter (RSF) digunakan untuk mengurangi padatan tersuspensi dan tingkat kekeruhan. Saringan jenis ini dilengkapi dengan pipa-pipa dan kran yang digunakan untuk mengatur jalannya

aliran air masuk (*input*) maupun air keluar (*output*). *Rapid sand filter* adalah salah satu jenis unit filtrasi yang mampu menghasilkan debit air yang lebih banyak dibandingkan *slow sand filter*. Penambahan karbon aktif di atas media pada filter bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penurunan bau, kekeruhan, senyawa organik dan rasa.



Gambar 37. Rapid Sand Filter
(Sumber : <https://www.studocu.com>)

Di dalam pengoperasian saringan pasir cepat terdiri dari tiga tahap yaitu tahap penyaringan (filtrasi), tahap pencucian filter atau pencucian balik (*backwash*), dan penyaringan awal setelah pencucian filter dibuang untuk beberapa saat.

Secara garis besar, sistem saringan pasir cepat terdiri dari beberapa bagian antara lain :

- Bak filter
Bak filter umumnya berbentuk persegi empat dan terbuat dari beton bertulang, tetapi untuk kapasitas yang kecil biasanya dibuat dalam bentuk paket dan terbuat dari besi baja.
- Media penyaring (lapisan pasir)
Untuk standar media filter ada beberapa kriteria standar seperti ditunjukkan pada tabel 20.

Tabel 20. Kriteria media filter menurut AWWA dan JWWA

Item	Standar AWWA (Amerika)	Standar JWWA (Jepang)
Tebal lapisan pasir	60 – 75 cm	60 – 70 cm
Diameter pasir	0,4 – 0,6 mm	0,45 – 0,7 mm
Uniformity coefficient	-	< 1,70
Tebal lapisan gravel	150 – 450 mm tergantung tipe under drain	300 – 500 mm

Sumber : JWWA, 1978

- Lapisan penyangga yang terdiri dari batu kerikil atau *gravel*
Lapisan *gravel* mempunyai fungsi untuk meratakan aliran air pada waktu penyaringan atau pencucian filter, serta sebagai lapisan penyangga lapisan pasir agar tidak turun dan masuk atau menutup sistem *under drain* (pengetapan).

Tabel 21. Kriteria Gravel Menurut JWWA

Kriteria perencanaan	<i>Rapid sand filter</i>	<i>Slow sand filter</i>
Kecepatan penyaringan ($m^3/m^2 \cdot \text{hari}$)	4 - 5	120 - 150
Diameter efektif pasir (mm)	0,3 - 0,4 mm	0,45 - 0,7 mm
Luas permukaan filter (m^2)	Ratusan - 5000	< 150
Tebal lapisan pasir (mm)	700 - 900	600 - 700 mm
Tebal lapisan penyangga (gravel) (mm)	400 - 600	300 - 500
Ketinggian air di atas lapisan pasir (m)	2,5 - 3,0	> 1,0
Pembersihan filter	Beberapa minggu	12 - 24 jam
Koefisien keseragaman (<i>uniformity coefficient</i>)	2,0 - 2,5	< 1,7

Sumber : JWWA, 1978

- Sistem drainase (*under drain system*)
Sistem *under drain* mempunyai fungsi untuk meratakan aliran air pada waktu pencucian balik (*backwash*) agar tidak merusak susunan media penyaring (lapisan pasir dan lapisan

kerikil). Selain itu untuk meratakan pengumpulan air yang telah disaring. Beberapa tipe sistem *under drain* antara lain Tipe pipa lateral (*perforated pipe*), tipe *leopold bottom* (*perforated block*), tipe *wheeler bottom*, serta tipe *porous plate*.

- Peralatan pencucian filter

Pada prakteknya standar pencucian meliputi kombinasi dari pencucian balik (*backwash*) dan pencucian permukaan (*surface washing*). Operasi pencucian mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses filtrasi. Jika proses pencucian kurang baik maka akan mengakibatkan hal-hal yang kurang menguntungkan misalnya waktu filtrasi total menurun, terjadi *mud ball*, terjadi keretakan pada lapisan media filter, dan sebagainya.

- Pengaduk unggun media filter (*filter bed agitator*) untuk pencucian

- Peralatan kontrol

Untuk proses operasi secara otomatis diperlukan beberapa peralatan kontrol seperti alat kontrol laju aliran (*flow rate controller*), alat indikator *headloss*, serta *turbidity-meter on line*.

2) **Slow Sand Filter (Saringan Pasir Lambat)**

Slow sand filter (SSF) merupakan tipe tertua dari proses pengolahan air yang pertama kali digunakan pada tahun 1872 di Amerika. Proses *slow sand filter* merupakan penyaringan partikel yang tidak didahului oleh proses pengolahan secara kimiawi (koagulasi). *Slow sand filter* lebih menyerupai penyaringan air

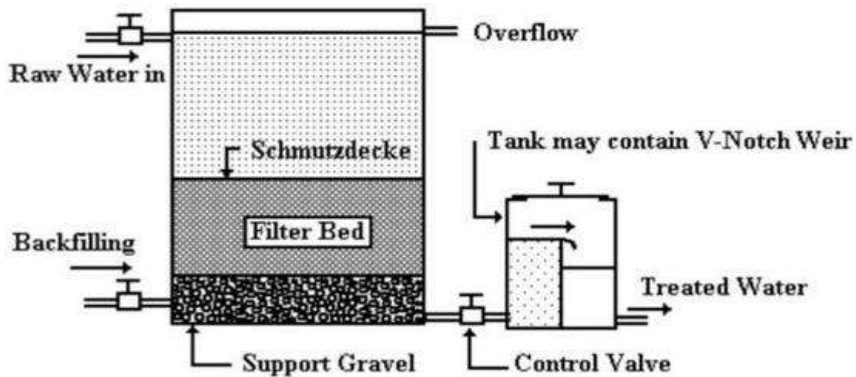
secara alami. Kecepatan aliran dalam media pasir ini kecil karena ukuran media pasir lebih kecil (*effective size* 0,15 mm - 0,35 mm). Kecepatan filtrasi jenis ini berkisar antara 0,1 m/jam - 0,4 m/jam.

Tabel 22. Perbandingan kecepatan antara SSF dan RSF

Filtration type	Application rate	
	m/hr	gal/ft ² .day
Slow sand filter	0,04 – 0,4	340 – 3.400
Rapid sand filter	0,4 – 3,1	3400 – 26.000

Sumber : <http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/filtration/>

Slow sand filter digunakan untuk menghilangkan kandungan organik dan organisme patogen dari air baku. Filtrasi jenis ini efektif digunakan dengan kekeruhan relatif rendah (< 50 NTU), tergantung distribusi ukuran partikel pasir, ratio luas permukaan filter terhadap kedalaman, serta kecepatan filtrasi. *Slow sand filter* bekerja dengan cara pembentukan lapisan gelatin atau biofilm yang disebut lapisan *hypogeal* atau *Schmutzdecke*. Lapisannya mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifer, dan larva serangga air. *Schmutzdecke* merupakan lapisan yang melakukan pemurnian efektif dalam pengolahan air minum. Dalam *Schmutzdecke*, partikel terperangkap dan zat organik yang terlarut akan terabsorpsi, diserap dan dicerna oleh bakteri, fungi, dan protozoa. Proses utama *Schmutzdecke* adalah *mechanical straining* terhadap bahan tersuspensi dalam lapisan tipis yang berpori sangat kecil.



Gambar 38. Slow Sand Filter

(Sumber : <https://www.civilconcept.com/>)

Konstruksi *slow sand filter* terdiri dari:

- *Enclosure tank*

Komponen ini terdiri dari tangki persegi panjang yang kedap air dan terbuka, biasanya terbuat dari batu atau beton. Kedalaman tangki berkisar antara 2,5 m - 4 m, sedangkan luas area dari tangki berkisar antara 50 - 1000 m².

- *Filter media*

Filter media terdiri dari lapisan pasir yang diletakkan di atas kerikil (*gravel*). Ketebalan *filter media* berkisar antara 90 - 110 cm. Ukuran efektif pasir 0,2 - 0,35 mm (umumnya 0,3 mm), dan koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*) 2 - 3 (umumnya 2,5).

- Bahan dasar

Bahan dasar adalah lapisan kerikil (*gravel*) setebal 30-75 cm dengan berbagai ukuran yang ditempatkan dalam satu lapisan. Umumnya digunakan 3-4 lapis dengan kedalaman 15-20 cm.

- *Under drainage system*

Bagian ini terdiri dari saluran pusat yang menghubungkan semua saluran lateral. Saluran air lateral adalah saluran pipa terbuka yang saling terhubung atau jenis saluran air berpori lainnya dengan diameter 7,5-10 cm.

- *Inlet dan outlet*

Inlet terdiri dari ruang yang dilengkapi dengan katup air, sedangkan *outlet* berisi ruang dimana bertujuan agar keluaran konstan dari filter dapat tetap dijaga di bawah berbagai level kedalaman filter air.

- Kelengkapan lainnya

- i. Pengukuran *head loss* melalui *filter media*
- ii. Pengontrol kedalaman air di atas *filter media*
- iii. Mempertahankan laju aliran melalui filter

Slow sand filter memiliki keuntungan antara lain:

- a. Biaya konstruksi yang murah
- b. Rancangan dan operasinya sederhana
- c. Tidak perlu tambahan bahan kimia
- d. Variasi kualitas air baku tidak mengganggu
- e. Tidak perlu banyak air untuk pencucian karena hanya dilakukan di bagian atas media tanpa backwash

Sedangkan kerugian *slow sand filter* yaitu besarnya kebutuhan lahan sebagai akibat lambatnya kecepatan proses filtrasi. Ringkasan perbedaan *rapid sand filter* dan *slow sand filter* dapat dilihat pada tabel 23.

Tabel 23. Ringkasan perbedaan antara RSF dan SSF

Parameter	Rapid Sand Filter	Slow Sand Filter
Ukuran Unit	10-100 m ² (dibutuhkan area yang lebih kecil)	50-200 m ² (dibutuhkan area yang luas)
Biaya	- Instalasi: murah - Operasional dan pemeliharaan: mahal	- Instalasi: mahal - Operasional dan pemeliharaan: murah
Laju Filtrasi	4.800-7.200 L/m ² /jam	100-200 L/m ² /jam
Pretreatment	Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi	Sedimentasi
Post treatment	Harus menggunakan desinfektan	Sedikit desinfektan
Konstruksi	Rumit	Mudah
Pengoperasian	Sulit	Mudah
Supervisi	Diperlukan secara rutin dan intens	Berkala
Jenis Media Pasir	- Ukuran efektif: 0.45-0.7 mm - Koefisien keseragaman: 1.2-1.7 - Ketebalan media: 60-75 cm	- Ukuran efektif: 0.25-0.35 mm - Koefisien keseragaman: 3-5 - Ketebalan media: 80-100 cm
Jenis Media Dasar	Gravel, ukuran 3-50 mm pada lapisan ke-4 atau 5 (dengan tinggi kedalaman 45-50 cm)	Gravel, ukuran 3-65 mm (dengan tinggi kedalaman 30-75 cm)
Efisiensi	- Kekeruhan influent: tidak disyaratkan, disertai pretreatment - Penghilangan bakteri: 80-90% - Penghilangan bau: kurang bagus	- Kekeruhan influent: syaratnya rendah, <30 NTU - Penghilangan bakteri: 98-99% - Penghilangan bau: sangat bagus
Pembersihan Filter	- Backwashing (Pencucian terbalik), mudah - Kebutuhan air: 1-5% dari total air bersih yang difilter	- Scrapping (Pengerukan), dibutuhkan operator terlatih - Kebutuhan air: 0.2-0.5% dari total air bersih yang difilter
Interval Pembersihan	1-2 hari	3-4 bulan
Penggunaan	Pengolahan air di daerah perkotaan dan industri	Pengolahan air di pedalaman atau desa terpencil

Sumber : <https://iqshalahuddin.wordpress.com/2016/04/29/sand-filter/>

3) Filter Karbon Aktif

Metode pengolahan karbon aktif prinsipnya adalah mengadsorpsi bahan pencemar menggunakan media karbon. Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian / seluruh molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Di dalam proses pengolahan air, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), penghilangan warna, penghilangan bau dan lainnya. Bahan adsorben yang banyak

digunakan antara lain adalah karbon aktif (*activated carbon*), silika aktif (*activated alumina*), zeolit dan lainnya.

Di dalam proses pengolahan air, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi, dan pengendapan. Polutan di dalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan biasa antara lain adalah bau, detergen, senyawa fenol, zat warna organik, amonia dan zat-zat organik lainnya.

Perencanaan fasilitas pengolahan air dengan karbon aktif sangat dipengaruhi oleh kualitas air yang akan diolah serta jenis maupun sifat dari karbon aktifnya. Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang mengandung karbon, misalnya batok kelapa, limbah kayu, arang, batu bara atau senyawa karbon lainnya, dengan cara pemanasan tanpa oksigen pada suhu tinggi (distilasi kering) serta diaktifkan dengan proses tertentu sehingga mempunyai sifat adsorpsi yang lebih spesifik. Daya adsorpsi karbon aktif tergantung dari ukuran partikel atau luas permukaan spesifiknya dan juga cara pengaktifannya.

Ada dua tipe karbon aktif yang sering dipakai untuk pengolahan air yaitu karbon aktif bubuk atau *Powder Activated Carbon* (PAC) dan karbon aktif butiran atau *Granular Activated Carbon* (GAC) yang mana keduanya mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam segi proses maupun segi ekonominya. Pada umumnya pengolahan air dengan PAC dipilih dengan pertimbangan untuk pengolahan dalam keadaan darurat atau untuk jangka pendek. Sedangkan untuk proses yang kontinu atau untuk jangka waktu yang lama penggunaan

GAC mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif bubuk. Namun demikian, pada kondisi tertentu kombinasi antara keduanya sering juga dilakukan.

Karbon aktif bubuk mempunyai ukuran partikel yang sangat halus yaitu sekitar 50-75 μ . Karena ukurannya sangat halus dan ringan maka pengerjaannya sangat sulit (mudah terbang), sehingga biasanya dicampur dengan air dengan kandungan air sekitar 30-50%. Salah satu contoh spesifikasi karbon aktif bubuk untuk pengolahan air minum dapat dilihat pada tabel 24.

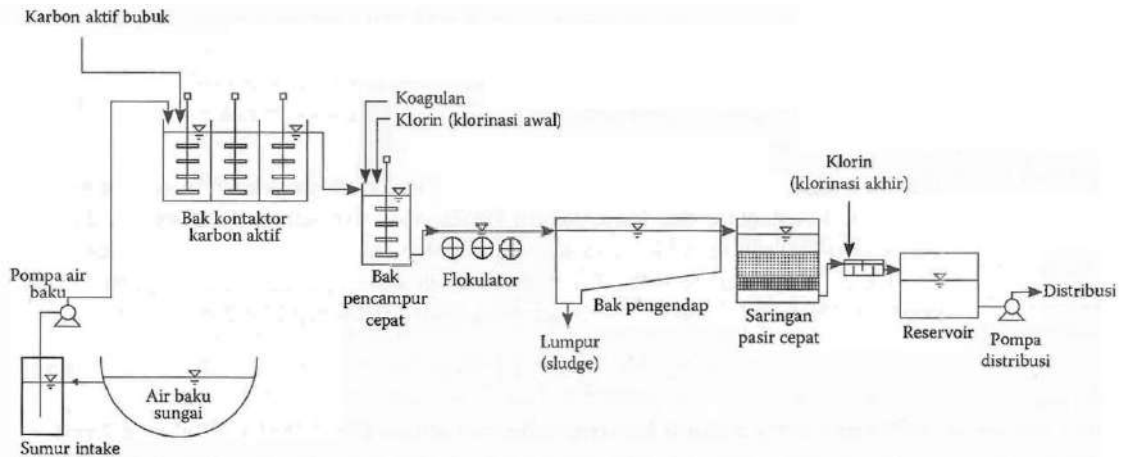
Tabel 24. Standar pemilihan PAC untuk pengolahan air

Item	Standar Pemilihan	Spesifikasi
Ukuran butiran	Surplus kurang 10% setelah screening 74 μ	100 mesh
Methylene blue decoloration	-	> 150 mg/l
Iodine Adsorption	-	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	20 - 50%	< 45 - 540%
pH	4 - 11	4-11
Klorida	< 0,5%	< 0,5%
Lead (Pb)	< 10 ppm	< 10 ppm
Seng (Zn)	< 50 ppm	< 50 ppm
Kadmium (Cd)	< 1 ppm	< 1 ppm
Arsenic (As)	< 2 ppm	< 2 ppm
Konduktivitas	< 900 $\mu\Omega/cm$	-

(Sumber : Said, 2017)

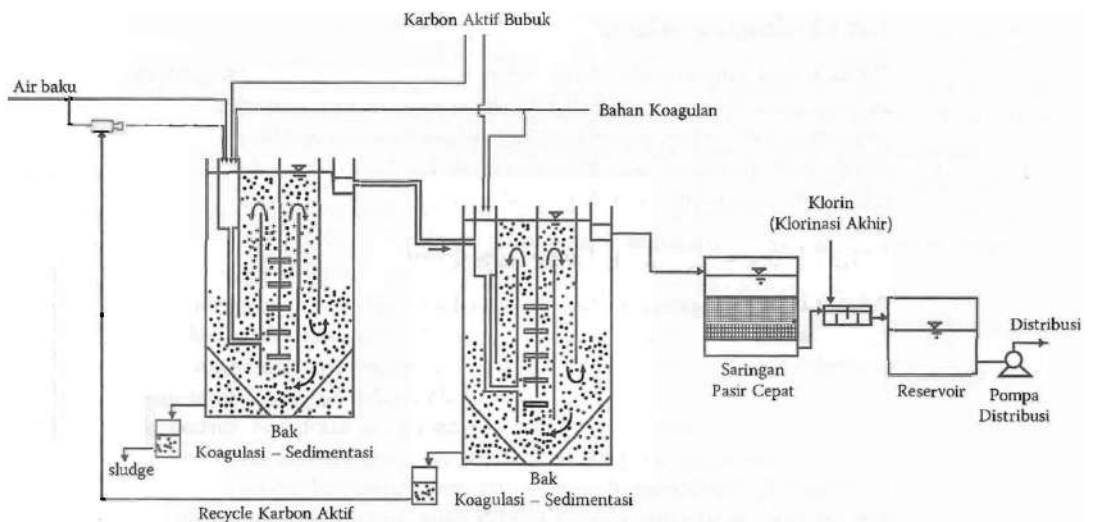
Cara pembubuhan dan pengkontakkan karbon aktif dengan air baku dapat dilakukan dalam tangki kontak khusus (*contact chamber*) yang dilengkapi dengan pengaduk, atau dapat juga disesuaikan dengan peralatan yang ada, misalnya pada bak pemisah pasir (*grit chamber*) atau dapat juga dilakukan bersama-sama di tangki

koagulasi, pada bak pencampur cepat (*rapid mixing tank*) atau pada *clarifier* (*accelerator*). Contoh diagram pengolahan air dengan karbon aktif bubuk dapat dilihat pada gambar 39 dan gambar 40.



Gambar 39. Sistem pengolahan air dengan PAC menggunakan bak kontaktor karbon aktif

(Sumber : Said, 2017)



Gambar 40. Sistem pengolahan air dengan PAC, dengan cara pembubuhan di dalam bak koagulasi-sedimentasi (*clarifier*)

(Sumber : Said, 2017)

Beberapa keuntungan proses pengolahan air minum dengan karbon aktif bubuk antara lain:

- Fasilitas pengolahan dapat disesuaikan dengan peralatan yang sudah ada.
- Sangat ekonomis untuk pengolahan dalam keadaan darurat maupun pengolahan jangka pendek, karena dapat dilakukan tanpa membuat peralatan yang khusus.
- Luas permukaan spesifik dari karbon aktifnya besar, sehingga daya adsorpsinya juga besar.
- Kemungkinan tumbuh mikroorganisme kecil sekali.

Sedangkan beberapa keburukannya yaitu:

- Cara pengerjaan dan pengangkutannya lebih sulit karena partikelnya sangat halus dan mudah terbang serta mudah terbakar.
- Regenerasi sulit dilakukan karena karbon aktif yang telah dipakai dalam proses pengolahan akan bercampur dengan kotoran-kotoran lain, berupa lumpur yang berwarna hitam.
- Pengontrolan proses lebih sulit serta kemungkinan kerusakan mesin atau peralatan akibat penyumbatan lebih besar.

Sedangkan karbon aktif butiran adalah karbon aktif yang berbentuk kepingan (*flake*) dengan ukuran partikel 0,16 - 1,5 mm. Cara pengerjaan maupun cara pengangkutannya lebih mudah. Salah satu spesifikasi dari karbon aktif butiran dapat dilihat pada tabel 25.

Tabel 25. Contoh spesifikasi GAC

Item	Standar Pemilihan
Ukuran butiran	8-32 mesh (2,302--0,495 mm) lebih dari 95%
Methylene blue decoloration	> 150 mg/g
Iodine Adsorption	> 1.000 mg/g
Dry Weight reduction	< 5%
pH	4 - 11
Klorida	< 0,5%
Lead (Pb)	< 10 ppm
Seng (Zn)	< 50 ppm
Kadmium (Cd)	< 1 ppm
Arsenic (As)	< 2 ppm

Sumber : JWWA, 1977

Ada dua jenis sistem filtrasi dengan media *Granular Activated Carbon (GAC)*, yaitu:

- *Whole-House Filters*

Sebuah *whole-house filter* dipasang pada titik pada pipa air yang mengalirkan air hasil *treatment* melalui keran atau perlengkapan apapun di rumah. Proses ini berfungsi untuk menghilangkan bahan kimia sebelum ditelan, dihirup, atau diserap oleh kulit selama mencuci atau mandi. Filter biasanya berbentuk silinder. Contoh yang ditunjukkan pada gambar 41, tinggi tabung silinder sekitar 4 kaki dan diameter 15 inci. Filter biasanya dipasang berpasangan, meskipun dalam beberapa situasi diperlukan lebih banyak filter.



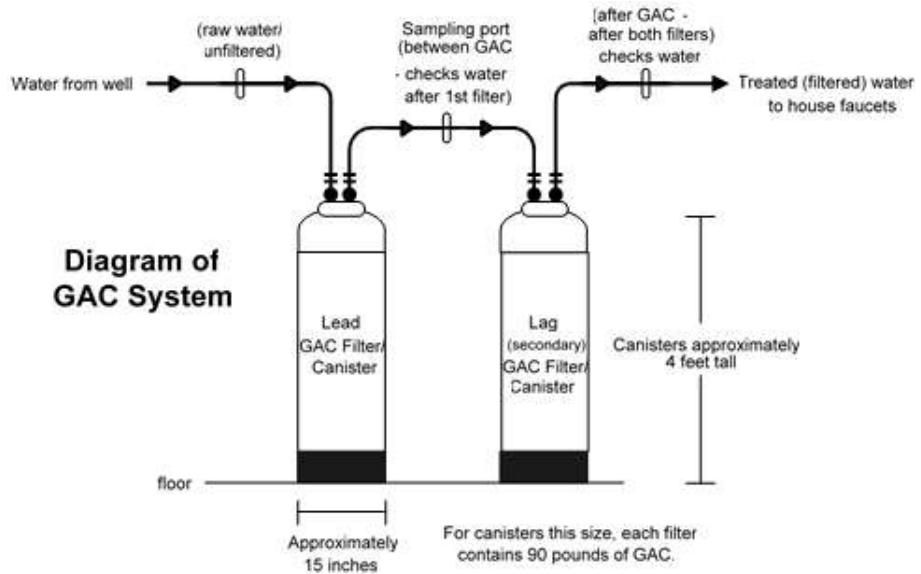
Gambar 41. Sistem pengolahan air dengan GAC metode *whole-house filter*

(Sumber : <https://www.health.state.mn.us>)

Dua filter yang diatur secara berurutan memastikan bahwa bahan kimia apa pun yang mungkin melewati filter pertama akan tetap terperangkap oleh filter kedua. Saat filter pertama habis, filter kedua dipindahkan ke posisi pertama dan filter baru ditempatkan di posisi kedua. Sebagian besar sistem juga memiliki sakelar *bypass* yang memungkinkan aliran air melewati sistem bila diperlukan untuk klorinasi atau aktivitas pemipaan tertentu.

- *Point of Use Filters* (POU)

Sebuah *point of use filters* dipasang pada pipa penyalur air tepat sebelum keran. Salah satu contohnya adalah unit *undersink*, dimana air melewati filter karbon dan mengalir ke keran air secara terpisah, di sebelah keran utama (gambar 42).



Gambar 42. Sistem pengolahan air dengan GAC, dengan metode *point of use filters*

(Sumber : <https://www.health.state.mn.us>)

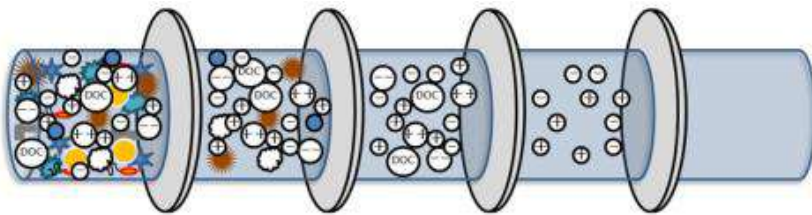
Air dari keran yang terpisah akan diolah dengan GAC, dan air dari keran utama (panas atau dingin) akan diolah. Contoh lain dari filter *point of use* adalah filter *pitcher* GAC yang biasa dijual di toko bahan makanan atau filter GAC yang merupakan bagian dari pembuat es pada refrigerator.

4) Filter Membran

Perkembangan teknologi telah berkembang demikian pesatnya, yang mana diharapkan dapat menjadi jawaban untuk sebagian dari permasalahan yang ada dalam pengolahan air bersih. Salah satu teknologi dalam pengolahan air yang dikembangkan adalah teknologi penyaringan atau filtrasi dengan menggunakan membran. Teknologi menggunakan membran sebenarnya bukanlah suatu

teknologi yang baru ditemukan, karena membran itu sendiri telah digunakan semenjak lebih dari 50 tahun yang lalu.

Teknologi ini digunakan dalam instalasi pengolahan air dengan tujuan untuk menghasilkan air layak minum, serta mengurangi biaya operasional dan instalasi. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja membran, diantaranya yaitu: karakteristik membran, yang merupakan material membran; tekanan operasi, yang sangat berpengaruh terhadap fluks yang dihasilkan serta kemampuan rejeksi membran; pH umpan; periode operasi membran; konsentrasi umpan; temperatur; serta kadar *suspended solid* dalam air umpan (Rahmadyanti, 2004) Keunggulan dari membran ini adalah mempunyai ukuran yang lebih kecil, kapasitas pengolahan lebih besar, serta mampu menghasilkan air layak minum.



Membrane Technology:	Microfiltration > 0,2 mm	Ultrafiltration 0,1 - 0,01 mm	Nanofiltration 0,01 - 0,001 mm	Reverse Osmosis < 0,001 mm
Retained Water ingredients:	zooplankton	macromolekules	Organic compounds	Monovalent ions
	algae	viruses	Multi valent ions	
	turbidity	colloids		
	bacteria			
	Suspended particles			
Needed pressure difference:	0,2 - 3 bar	0,5 - 5 bar	5 - 10 bar	10 - 150

Gambar 43. Teknologi filtrasi membran

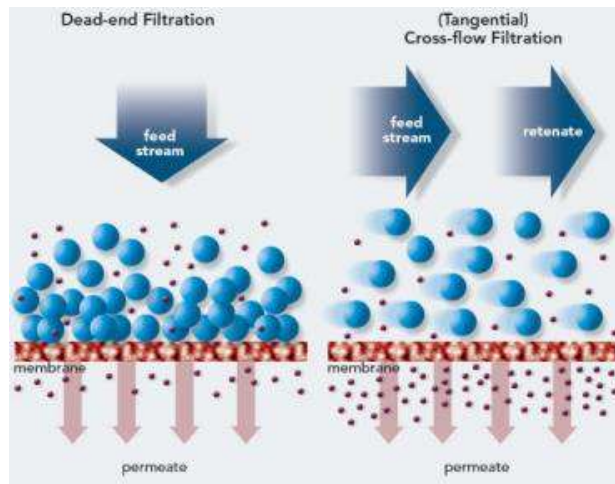
(Sumber : <https://iqshalahuddin.wordpress.com>)

Adapun jenis membran yang tersedia saat ini dibagi menjadi 4 kelompok besar disesuaikan dengan ukuran dari tingkat penyaringan atau sering disebut dengan istilah *filtration degree*, tingkat-tingkat penyaringan yang dimaksud adalah sebagai berikut (Said, 2009):

- Mikrofiltrasi (*Micro Filtration*, MF)

Mikrofiltrasi (MF) dikomersialkan pertama kali pada tahun 1927 oleh Sartorius Werke di Jerman. Membran MF dapat dibedakan dari membran reverse osmosis (RO) dan ultrafiltrasi (UF) berdasarkan partikel yang dapat dipisahkannya. Membran MF dapat dibuat dari berbagai macam material, baik organik maupun anorganik. Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi dan zat kimia. Membran MF memiliki ukuran pori antara 0,05-10 μm dan tebal antara 10-150 μm (Mahardani & Kusuma, 2011). Proses pemisahan dapat dilaksanakan pada tekanan relatif rendah yaitu dibawah 2 bar. MF dapat menahan koloid, mikroorganisme, *suspended solid*, dan bahan-bahan yang ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata ukuran pori karena penahan adsorptive (Redjeki, 2011).

Penggunaan MF sangat cocok untuk menurunkan *turbidity* yang disebabkan oleh partikel terlarut dan mikroorganisme. Material membran yang digunakan dapat berasal dari polimer organik seperti polipropilen atau polikarbonat, keramik, dan metal alloy (Shalahuddin, 2018).



Gambar 44. *Dead-end microfiltration* dan *cross-flow microfiltration*
(Sumber : <https://iqshalahuddin.wordpress.com>)

Sesuai gambar 44, terdapat 2 mekanisme dalam pemisahan, antara lain:

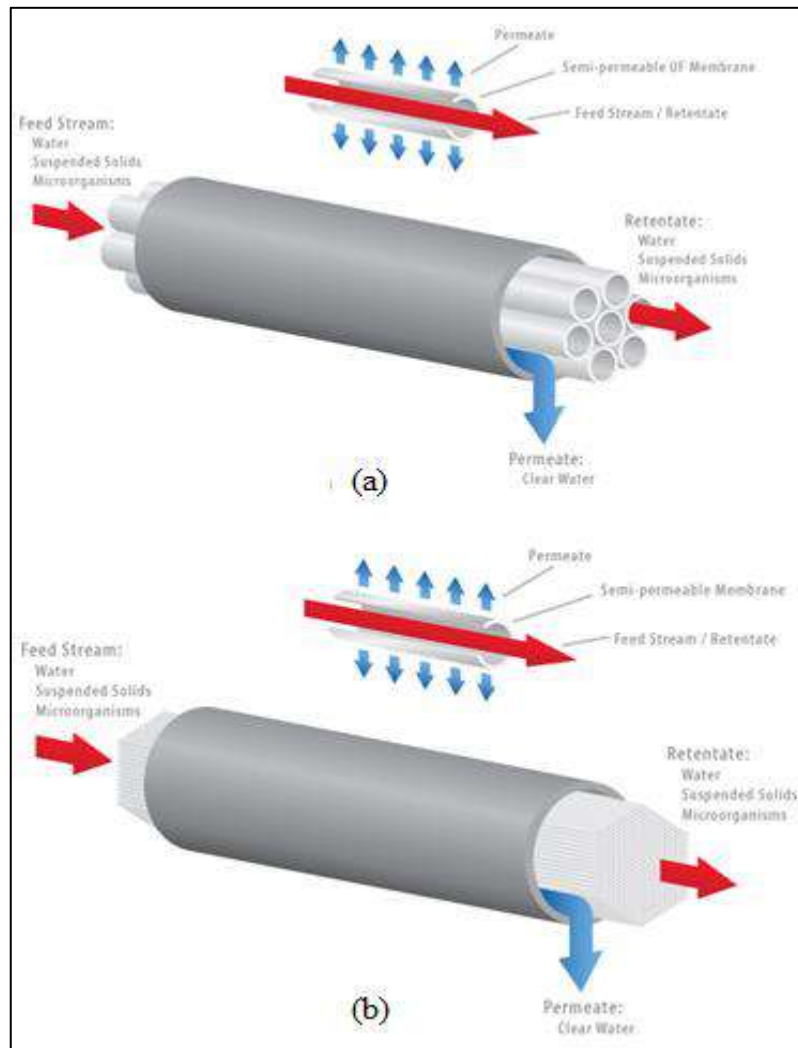
a. *Dead-end Microfiltration (conventional process)*

Proses ini terjadi dengan aliran air mengarah langsung ke membran dan partikel padatan akan terakumulasi di atas permukaan membran hingga dilakukan *backwash*. Jika tidak ada *backwash* maka laju aliran dapat menurun hingga nilainya 0 karena semua partikel padatan menyebabkan *blocking* (penutupan pori). Setelah dilakukan *backwash*, padatan yang terakumulasi di atas permukaan membran akan dibersihkan dan kemudian ditampung untuk dibuang.

b. *Cross-flow Microfiltration*

Aliran air pada *cross-flow microfiltration* secara turbulen sepanjang membran sehingga dapat mencegah terjadinya akumulasi partikel padatan di atas permukaan membran. Jenis membran yang digunakan biasanya berbentuk tabung,

misalnya *tubular membrane* dan *hollow fiber membrane*. Air yang tidak terfiltrasi dan mengandung partikel padatan (*retentate*) akan dialirkan keluar atau difilter kembali. Istilah *cross-flow* digunakan karena aliran air umpan (*feed*) dan aliran air terfiltrasi (*permeate*) mengarah sudut 90° .

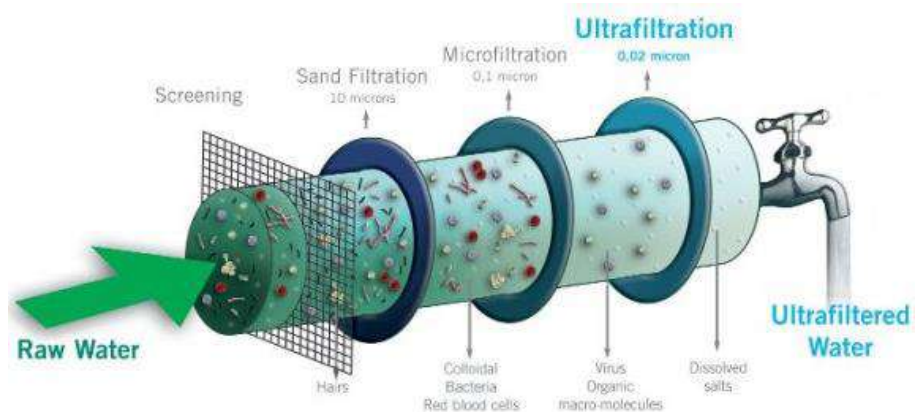


Gambar 45. (a) Tubular membrane (b) Hollow fiber membrane
(Sumber : <https://synderfiltration.com>)

- Ultrafiltrasi (*Ultra Filtration*, UF)

Ultrafiltrasi (UF) merupakan proses pemisahan menggunakan membran dengan ukuran pori berkisar antara 0,1 - 0,001 μm . UF memiliki kemampuan pemisahan yang lebih baik dibandingkan mikrofiltrasi. Istilah “ultra” memiliki makna yaitu teramat sangat, yang menandakan dimana semua mikroorganisme dapat dipisahkan secara sempurna dengan UF, termasuk makromolekul seperti protein yang biasanya dihasilkan oleh mikroorganisme, sedangkan air dan molekul rendah akan tetap melewati membran. Secara prinsipnya, UF sama dengan MF dimana terdapat 2 proses mekanisme: *dead-end* dan *cross-flow*. Perbedaan utamanya adalah ukuran pori membran yang jauh lebih kecil dibandingkan MF.

Material yang umumnya digunakan untuk membran UF berupa polimer seperti polysulfone, polypropylene, cellulose acetate, dan polylactic acid. Namun, ada juga yang menggunakan membran keramik untuk penggunaan pada temperatur yang tinggi. Gambar 46 memperlihatkan penggunaan membran UF yang membedakannya dengan membran MF. *Output* akhir yang dihasilkan berupa air bersih yang masih mengandung garam-garam terlarut.



Gambar 46. Hasil akhir dari proses UF

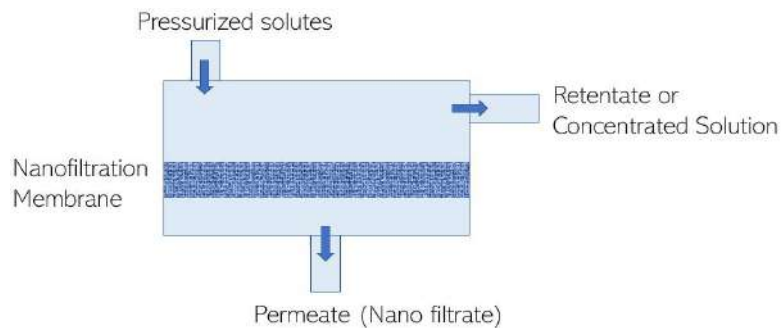
(Sumber : <https://iqshalahuddin.wordpress.com>)

Air yang akan diolah pada proses UF dialirkan secara tangensial ke sepanjang permukaan membran, sehingga menghasilkan dua aliran. Aliran air yang masuk dan meresap melalui membran disebut aliran air olahan (*permeate*). Jumlah dan kualitas air olahan akan tergantung pada karakteristik membran, kondisi operasi, serta kualitas air bakunya. Aliran lainnya yaitu aliran air buangan (*reject*) atau disebut konsentrat, dimana di dalam aliran air buangan mengandung zat atau kotoran yang telah dipisahkan oleh membran sehingga konsentrasinya menjadi lebih pekat. Oleh karena itu di dalam pemisahan secara aliran silang (*cross-flow*), membran itu sendiri tidak bertindak sebagai kolektor ion, molekul, atau koloid tetapi hanya bertindak sebagai penghalang. Di dalam proses penyaringan dengan menggunakan filter konvensional, media penyaring (*filter cartridge*) hanya menghilangkan padatan tersuspensi dengan menjebak kotoran dalam pori-pori media filter. Oleh karena itu filter ini bertindak sebagai deposit dari padatan tersuspensi dan

harus sering dibersihkan atau diganti. Filter konvensional umumnya digunakan untuk pengolahan awal sebelum proses pengolahan dengan sistem membran, yaitu untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang relatif besar, sedangkan proses penyaringan dengan membran digunakan untuk menghilangkan partikel dan padatan terlarut.

- Nanofiltrasi (*Nano Filtration*, NF)

Nanofiltrasi (NF) adalah proses membran yang digerakkan oleh tekanan khusus di mana selain pengecualian ukuran sebagai mekanisme penghilangan, muatan permukaan membran juga berdampak pada permeabilitas komponen yang diisi.



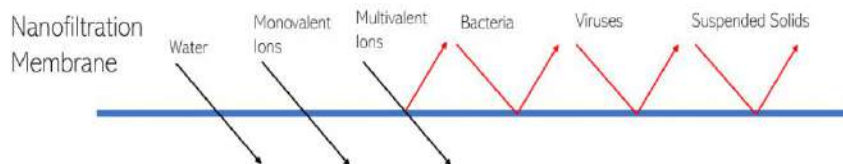
Gambar 47. Hasil akhir dari proses UF

(Sumber : <https://www.theengineersperspectives.com>)

Membran NF telah disintesis sejak akhir tahun 1980-an. Minat dalam penggunaan membran NF telah muncul dalam pengolahan air limbah serta air minum dan proses produksi air bersih. Membran NF pun terus mengalami pengembangan karena memiliki sifat fleksibilitas sebagai alat pemisah. Saat ini, membran NF yang tersedia secara komersial seperti poliamida (PA) dan selulosa asetat (CA). Beberapa polimer lain seperti

polieter sulfon (PES), polistiren sulfonat (SPSF), polimida (PI), polivinil alkohol (PVA), dan kitosan (CS) juga dipelajari dan digunakan untuk pembuatan membran NF.

Nano sendiri memiliki arti satu per milyar. Satu nanometer (1 nm) sama dengan 10^{-9} m = 10^{-3} μ m. Nanofiltrasi merupakan filtrasi membran *crossflow*. Dalam air yang mengandung campuran beberapa jenis ion, ion monovalen cenderung menembus membran sedangkan jenis ion divalen atau multivalent sangat mungkin akan dipisahkan pada antar muka (*interface*) membran, seperti diperlihatkan pada gambar 48. Oleh karena beberapa jenis ion, yakni ion monovalen dapat masuk melalui membran, perbedaan potensial kimia antara kedua larutan lebih kecil maka memerlukan daya pendorong yang lebih rendah. Oleh karena itu, tekanan operasi NF hanya berkisar antara 7-40 bar.



Gambar 48. Hasil akhir dari proses UF
(Sumber : <https://www.theengineersperspectives.com>)

Membran NF akan memungkinkan air, dan sebagian besar ion monovalen melewati membran, sambil tetap mempertahankan beberapa ion multivalen, bakteri, virus, dan padatan tersuspensi. Dari kategori ion multivalen, membran nanofiltrasi dapat secara efektif menghilangkan ion divalen seperti ion kalsium atau ion magnesium. Selain itu, mereka juga dapat secara efektif menolak

herbisida, antibiotik, gula, organik terlarut, insektisida/pestisida, emulsi lateks, dan nitrat.

Membran NF umumnya dicirikan oleh kemampuan untuk memisahkan jenis ion divalen, umumnya magnesium sulfat ($MgSO_4$) atau kalsium klorida ($CaCl_2$). Karena terdapat banyak variabilitas di dalam aplikasi NF, retensi $MgSO_4$ umumnya berkisar antara 80% - 98%. NF umumnya dipilih untuk pemisahan apabila aplikasi reverse osmosis (RO) dan ultrafiltrasi bukanlah pilihan yang tepat. Kemampuannya yang sangat spesifik dalam filtrasi menjadikan NF sebagai pilihan yang tepat terkait dengan efektifitas, kelayakan, dan ekonomis. Penggunaan NF meliputi demineralisasi, penghilangan senyawa warna, dan *desalting* (Said, 2009). Hal inilah yang memungkinkan penerapan NF di berbagai industri, terutama pada pengolahan air limbah, makanan dan minuman, industri tekstil, serta farmasi.

Berikut ini merupakan keunggulan dari sistem nanofiltrasi:

- a) Tekanan operasi, energi, dan biaya operasi yang relatif rendah
- b) Tidak memerlukan garam bahan kimia selama operasi
- c) Mengurangi logam berat, sulfat, nitrat, *Volatile Organic Compounds* (VOCs), dan pestisida
- d) Dapat melunakkan air keras dengan menggunakan membran pelunakan khusus
- e) Mengurangi warna dan kekeruhan yang dikandung air baku.

Sedangkan kelemahan dalam nanofiltrasi antara lain:

- a) Pengontrolan yang harus dilakukan secara rutin terhadap *fouling* dan *scaling* yang terjadi pada membran

- b) *Pretreatment* sering diperlukan untuk aliran air yang sangat tercemar
- c) Laju transfer yang lambat saat melintasi membran
- d) Seringnya terjadi *pressure drop*
- e) Diperlukan luas area permukaan yang besar.

Ada 4 parameter utama yang mempengaruhi kinerja membran nanofiltrasi, yang terbagi atas:

a) Tekanan

Tekanan adalah kekuatan pendorong yang bertanggung jawab untuk proses membran nanofiltrasi. Tekanan penggerak yang efektif adalah tekanan hidrolis yang diterapkan dikurangi tekanan osmotik yang terjadi pada membran oleh zat terlarut.

b) Temperatur

Fluks nanofiltrasi meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Hal ini terjadi dikarenakan peningkatan temperatur menurunkan viskositas fluida.

c) Kecepatan *cross-flow*

Fluks nanofiltrasi juga semakin meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan aliran silang karena penghilangan lapisan *fouling* pada permukaan membran yang lebih efisien.

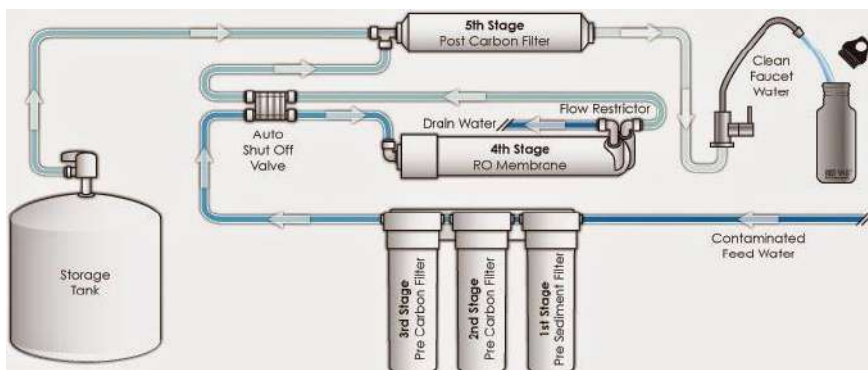
d) pH larutan

Situs bermuatan pada permukaan membran nanofiltrasi bervariasi dengan pH. Pada pH netral, situs bermuatan negatif, dan pada pH asam, mereka kehilangan muatannya.

- Osmosis Balik (*Reverse Osmosis, RO*)

Apabila dua buah larutan dengan konsentrasi encer dan konsentrasi pekat dipisahkan oleh membran *semi-permeable*,

maka larutan dengan konsentrasi yang encer akan terdifusi melalui membran tersebut dan masuk ke dalam larutan yang pekat sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi. Fenomena inilah yang disebut sebagai proses osmosis. Jika air tawar dan air asin dipisahkan dengan membran *semi-permeable*, maka air tawar akan terdifusi ke dalam air asin melalui membran tersebut sampai terjadi kesetimbangan. Daya penggerak (*driving force*) yang menyebabkan terjadinya aliran difusi air tawar ke dalam air asin melalui membran *semi-permeable* tersebut dinamakan tekanan osmosis. Besarnya tekanan osmosis tersebut tergantung dari karakteristik membran, temperatur air, dan konsentrasi garam yang terlarut dalam air. Apabila pada suatu sistem osmosis tersebut, diberikan tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosisnya, maka aliran air tawar akan berbalik yakni dari air asin ke air tawar melalui membran *semi-permeable*, sedangkan garamnya tetap tertinggal di dalam larutan garamnya sehingga menjadi lebih pekat. Proses ini yang kemudian dinamakan osmosis balik (*reverse osmosis/RO*).



Gambar 49. Skema proses RO

(Sumber : <http://rumah-masakini.blogspot.com>)

Seperti yang diperlihatkan pada gambar 49, pada umumnya komponen mesin RO terdiri dari 5 *cartridge*, tangki penyimpanan air, dan keran atau dispenser. Uraian dari tiap komponen tersebut dijelaskan sebagai berikut.

- *Cartridge 1*

Ukuran sedimen 5 mikron yang berisi selulosa dan memiliki pekat resin. Fungsinya untuk menyaring senyawa kimia dan partikel padat seperti kapur, lumpur, pasir, tanah, dan sejenisnya. Komponen yang berada dalam *cartridge* ini harus diganti secara rutin seiring semakin kotornya air yang digunakan.

- *Cartridge 2*

Cartridge ini memiliki karbon aktif berbutir yang memiliki fungsi untuk menyerap rasa dan bau dari senyawa organik, termasuk klorin dan benzena.

- *Cartridge 3*

Cartridge ini memiliki filter jenis *carbon block* dengan fungsi untuk menyempurnakan *cartridge* sebelumnya dari bahan kimia, rasa, dan bau.

- *Cartridge 4*

Di *cartridge* ini, bakteri dan virus dibunuh karena di dalamnya memiliki membran dengan ukuran 0,0001 mikron yang hanya melewatkan molekul air dan membuang segala sesuatu yang mempengaruhi ketidakmurnian dalam air yang bisa berbahaya terhadap kesehatan, seperti atom panas, virus, senyawa logam berat dan ion. Hal yang perlu diperhatikan adalah pada

indikatornya, karena jika air tidak keluar maka membran harus diganti.

- *Cartridge 5*

Fungsinya untuk menjaga air yang disimpan karena memiliki memiliki karbon aktif berbutir yang digunakan setelah filterisasi. Setiap penggantian *cartridge* 1-3 dan 5 tidak harus sama jangka waktu pengantiannya, karena perlu diperhatikan sumber air yang digunakan kotor atau tidak. Jika ternyata semakin kotor, maka harus secepatnya melakukan pergantian *cartridge*.

- Tangki penyimpanan air

Tangki ini memiliki fungsi utama sebagai tempat penyimpanan air hasil filteralisasi.

- Keran / dispenser

Tempat keluar air untuk siap diminum.

Untuk menjaga efektivitas membran RO yang digunakan, maka diperlukan *pre-treatment*. *Pre-treatment* biasanya dilakukan dengan proses filtrasi dapat menggunakan multimedia filter (saringan mangan zeolit, saringan karbon aktif) maupun *cartridge* filter (Widayat, 2007). Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menghindari hal-hal berikut:

- a) Adanya potensi terjadi mampat pada membran, sehingga efektivitas kerja membran terjadi penurunan (kapasitas menurun, tekanan lebih tinggi, kualitas produksi kurang baik)
- b) Pencucian membran secara kimiawi menjadi lebih sering dilakukan. Semakin tinggi frekuensi pencucian membran maka akan mempercepat terjadinya kerusakan. Pencucian yang

dianjurkan sebanyak 2–4 kali pencucian dalam 1 tahun dengan operasi 20 jam sehari.

- c) Mempersingkat usia membran, diakibatkan kerusakan seperti yang terjadi pada poin sebelumnya.

Sistem RO adalah salah satu metode penyaringan yang paling banyak digunakan saat ini, karena RO dapat menghilangkan 98% padatan terlarut, sehingga air lebih sehat untuk diminum. Penyuling air adalah satu-satunya sistem air minum lain yang juga mengurangi TDS, tetapi kurang efisien daripada sistem RO. Selain itu, sistem RO juga mengurangi zat kontaminan berbahaya yang larut, sodium dan mengurangi rasa dan bau pada air. Sistem RO juga lebih ramah lingkungan, mudah dalam pemasangan dan perawatannya, pengoperasiannya dapat dilakukan pada suhu kamar, mudah untuk memperbesar kapasitasnya, serta pengoperasian alat relatif lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, Joshua. *How Does Nanofiltration Work?*. Dipublikasikan pada 26 September 2022. Diambil dari: <https://www.theengineersperspectives.com/how-does-nanofiltration-work/>. Diakses pada 4 Oktober 2022.
- Anonim. *Science in the time of cholera*. Dipublikasikan pada 21 Juni 2021. Diambil dari: <https://www.yourgenome.org/stories/science-in-the-time-of-cholera>. Diakses pada 10 April 2022.
- Anonim. *Mengenal Trihalometan Dan Dampaknya Untuk Tubuh*. Dipublikasikan pada 27 Maret 2021. Diambil dari: <https://watercare.co.id/article/mengenal-trihalometan-dan-dampaknya-untuk-tubuh/>. Diakses pada 18 April 2022.
- Anonim. *Sering Mendengar Istilah TDS (Total Dissolved Solid)?Apakah Itu??*. Dipublikasikan pada 12 Mei 2020. Diambil dari: <https://watercare.co.id/article/mengenal-trihalometan-dan-dampaknya-untuk-tubuh/>. Diakses pada 23 April 2022.
- Anonim. *Pengujian Residu Klorin dalam Air Minum di Lapangan*. Dipublikasikan pada 6 Agustus 2021. Diambil dari: <http://www.saka.co.id/news-detail/pengujian-residu-klorin-dalam-air-minum-di-lapangan>. Diakses pada 30 April 2022.
- Anonim. *Proses Flotasi (Pengapungan)*. Dipublikasikan pada 2019. Diambil dari: <https://waterpedia.co.id/5043-2proses-flotasi-pengapungan/>. Diakses pada 6 Mei 2022.
- Anonim. *Metode Jar Test : Analisa, Pemilihan Alat dan Cara Perawatannya*. Dipublikasikan pada 14 Oktober 2021. Diambil dari: <http://www.saka.co.id/news-detail/metode-jar-test---analisa--pemilihan-alat-dan-cara-perawatannya>. Diakses pada 27 Mei 2022.
- Anonim. *Sedimentasi Adalah*. Dipublikasikan pada 19 Oktober 2022. Diambil dari: <https://www.dosenpendidikan.co.id/sedimentasi-adalah/>. Diakses pada 1 November 2022.

- Anonim. *Dissolved Air Flotation (DAF) Systems*. Diambil dari: <https://www.evoqua.com/en/evoqua/products--services/clarifiers--separators/dissolved-air-flotation-daf-systems/dissolved-air-flotation-daf-systems/>. Diakses pada 4 Juli 2022.
- Anonim. *Dissolved Air Flotation*. Diambil dari: https://www.iseparation.com/products/dissolved_air_flotation.html Diakses pada 15 Juli 2022.
- Anonim. *Purac Flofilter - Combined Flotation and Filtration System*. Diambil dari: <https://www.environmental-expert.com/products/purac-flofilter-combined-flotation-and-filtration-system-355768>. Diakses pada 25 Juli 2022.
- Anonim. *Sludge Collectors*. Diambil dari: <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/sludge-collectors/>. Diakses pada 2 Agustus 2022.
- Anonim. *Different between Slow Sand Filter (SSF) and Rapid Sand Filter (RSF)*. Diambil dari: <https://www.civilconcept.com/different-between-slow-sand-filterssf-and-rapid-sand-filterrsf/>. Diakses pada 27 Agustus 2022.
- Anonim. *Hollow Fiber Membranes*. Diambil dari: <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/hollow-fiber-membranes/>. Diakses pada 25 September 2022.
- Anonim. *Tubular Membranes*. Diambil dari: <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/tubular-membranes/>. Diakses pada 25 September 2022.
- Anonim. *Harga Dan Komponen Mesin Reverse Osmosis (RO)*. Diambil dari: <http://rumah-masakini.blogspot.com/2014/12/harga-dan-komponen-mesin-reverse.html>. Diakses pada 13 Oktober 2022.
- Anonim. *Sistem Reverse Osmosis dan Cara Kerjanya*. Dipublikasikan pada 17 Desember 2019. Diambil dari: <https://www.deltapuro.com/2019/12/sistem-reverse-osmosis-dan-cara-kerjanya.html>. Diakses pada 30 Oktober 2022.
- Arnelli & Astuti, Y. 2019. *Kimia Koloid dan Permukaan*. Sleman : Deepublish.

- Badan Standardisasi Nasional. 2008. SNI 6774:2008 *Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air*.
- Bendaha, M. E-A, *et al.* Removal Of Zinc And Cadmium Ions From Contaminated Soils With Rhamnolipid Biosurfactant Produced By *Pseudomonas Aeruginosa* S7PS5. 2016. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. Vol. 8 (3), 1146-1165.
- Brady, James E. 1999. *Kimia Universitas: Asas & Struktur Jilid I Edisi kelima*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Burton, dkk. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition*. New York: McGraw Hill International Editions. 333-334.
- Camp, Charles. *Part 1 - Introduction to Water Filtration*. Diambil dari: <http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/filtration/filtration-1.html>. Diakses pada 15 Agustus 2022.
- Chandra, Budiman. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan P Widyastuti*. Jakarta : EGC.
- Degremont, G. 1991. *Water Treatment Handbook*. Paris: Lavoisier Publishing.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2015. *Prasarana dan Sarana Air Minum*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.
- Eckenfelder Jr, W. Wesley. 2000. *Industrial Water Pollution Control 3rd ed.* Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- Geankoplis, C.J. 1983. *Transport Process and Unit Operations 3rd ed.* New York: Prentice-Hall International Inc.
- JWWA. 1978. Design Criteria For Waterworks Facilities.
- Kawatra, S. 2011. *Fundamental principles of froth flotation*. Michigan: Michigan Technological University.
- Kelly, E. G., & Spottiswood, D. J. 1982. *Introduction to Mineral Processing*. New York: Willey Interscience Publication.
- Kencana, I Putu Sila. *Manfaat Pengapuran Pada Lahan Pertanian*. Dipublikasikan pada 5 Mei 2020. Diambil dari: <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/92685/MANFAAT->

- PENGAPURAN-PADA-LAHAN-PERTANIAN/. Diakses pada 3 Mei 2022.
- Mahardani, N.S. & Kusuma, F.H. *Pengolahan Air Baku Menjadi Air Minum Dengan Teknologi Membran Mikrofiltrasi Dan Ultrafiltrasi*. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP-ITS. Surabaya.
- Manisha, S. *Colloidal Systems in Food: Functions, Types and Stability / Food Chemistry*. Dipublikasikan pada 15 Februari 2019. Diambil dari: <https://www.biotechnologynotes.com/food-biotechnology/food-chemistry/colloidal-systems-in-food-functions-types-and-stability-food-chemistry/14096>. Diakses pada 15 April 2022.
- Martiandaru, P. 2008. *Analisis Kerusakan Pada Jalur Pipa Injeksi Bagian T Di Lingkungan Geotermal*. Departemen Metalurgi Material, Universitas Indonesia.
- Minnesota Department of Health - Site Assessment and Consultation Unit. *Water Treatment Using Carbon Filters (GAC)*. Dipublikasikan pada Agustus 2018. Diambil dari: <https://www.health.state.mn.us/communities/environment/hazardous/docs/gac1.pdf>. Diakses pada 12 September 2022.
- Ogemdi, I. K. 2019. Properties and Uses of Colloids: A Review. *Science Publishing Group*, Vol. 4, Issue-2 pp. 24-28.
- Oxtoby. 2016. *Solid Liquid Separation: Equipment Selection and Process Design 1st Edition*. Journal of Food Chemistry. Science Direct. Elsevier.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/MENKES/ PER/ IV/ 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum.

- Puluhulawa, Lisa Efriani. *Mengenal Koloid dan Sistem Koloid*. Dipublikasikan pada 11 Oktober 2020. Diambil dari: <https://gudangilmu.farmasetika.com/mengenal-koloid-dan-sistem-koloid/>. Diakses pada 17 April 2022.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. Modul Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. Bandung : PUSKIM.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. Modul Instalasi Saringan Pasir Lambat. Bandung : PUSKIM.
- Rahmadyanti, E. 2004. *Pembuatan dan Pemanfaatan Membran Chitosan Untuk Pemisahan Larutan Deterjen*. Program Pasca Sarjana. Jurusan Teknik Lingkungan. Surabaya.
- Ramli, N., Navianti, D., & Karwiti, W. 2014. Pengaruh Jenis Air Yang Digunakan Terhadap Kadar Klorin Pada Air Seduhan Kertas Pembungkus Teh Celup. *Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang*, Vol 1 No. 13.
- Redjeki, Sri. 2011. *Proses Desalinasi Dengan Membran*. Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur Press.
- Risdianto, Dian. 2007. Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul). Tesis. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Said, Nusa Idaman. Uji Kinerja Pengolahan Air Siap Minum Dengan Proses Biofiltrasi, Ultrafiltrasi Dan Reverse Osmosis (RO) Dengan Air Baku Air Sungai. 2009. *Jurnal Air Indonesia*. Vol 5. No. 2, hal. 144-161.
- Said, Nusa Idaman. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah : Teori Dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Satterfield, Zane. 2004. Jar Testing. *Tech Brief*, Vol. 5 Issue 1 pp. 1-4.
- Schutte, Frik. 2016. *Handbook for the Operation of Water Treatment Works*. Pretoria: University of Pretoria.
- Shalahuddin, Iqbal. *Sand Filter*. Dipublikasikan pada 29 April 2016. Diambil dari: <https://iqshalahuddin.wordpress.com/2016/04/29/sand-filter/>. Diakses pada 3 September 2022.

- Shalahuddin, Iqbal. *Teknologi Membran*. Dipublikasikan pada 18 Mei 2016. Diambil dari: <https://iqshalahuddin.wordpress.com/2016/05/18/teknologi-membran/>. Diakses pada 13 September 2022.
- Supian. *Saringan Pasir Cepat (Rapid Sand Filter)*. Dipublikasikan pada 2020. Diambil dari: <https://www.studocu.com/id/document/universitas-pembangunan-nasional-veteran-jawa-timur/chemical-engineering/filter-2020/33738440>. Diakses pada 10 Agustus 2022.
- Susanto, Ricky. 2015. *Optimasi Koagulasi-Flokulasi Dan Analisis Kualitas Air Pada Industri Semen*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Toemon, Sylvana. *Louis Pasteur, Penemu Teknik Membebaskan Makanan dari Mikroba Berbahaya*. Dipublikasikan pada 12 Maret 2018. Diambil dari: <https://bobo.grid.id/read/08681574/louis-pasteur-penemu-teknik-membebasakan-makanan-dari-mikroba-berbahaya>. Diakses pada 11 April 2022.
- Warjito, Harinaldi, *et al.* Kinematika Partikel pada Proses Flotasi. 2015. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*. Banjarmasin: 7-8 Oktober 2015.
- Widayat. Studi Pengurangan Bilangan Asam, Bilangan Peroksida dan Absorbansi dalam Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas dengan Zeolit Alam Aktif. 2007. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Vol. 6. No. 1, hal. 7-12.
- Widodo, Lestanto Unggul. 2014. *Mikrobiologi. In: Sejarah, Ruang Lingkup, dan Perkembangan Mikrobiologi*. Jakarta : Universitas Terbuka.
- Widyawinata, R. *Mengenal Kegunaan Klorin dan Ancaman Risiko Kesehatan yang Menyertai*. Dipublikasikan pada 4 Maret 2021. Diambil dari: <https://www.sehatq.com/artikel/kegunaan-dan-bahaya-klorin>. Diakses pada 30 April 2022.
- Yayasan Lembaga SABDA (YLSA). *Louis Pasteur*. Dipublikasikan pada 2013. Diambil dari: http://biokristi.sabda.org/louis_pasteur_1822_1895_ilmuwan_terkemuka_dan_penentang_teorievolusi. Diakses pada 11 April 2022.

Zamora, R., Harmadi & Wildian. 2015. Perancangan Alat Ukur TDS (Total Dissolved Solid) Air Dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time. *Jurnal Sainstek*, Vol. VII No. 1 pp. 11-15.

GLOSARIUM

Alat pengaman adalah pendeteksi kebocoran gas klor dan sprinkler air otomatis atau manual.

Alkalinitas adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam, atau dikenal dengan *Acid Neutralizing Capacity* (ANC) atau kuantitas anion dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen.

Coliform feses dan *Escherichia coli* adalah bagian dari kelompok *Total coliform*. Kedua organisme ini merupakan indikator yang lebih baik untuk polusi feses dibandingkan *total coliform*, tetapi *Coliform feses* dan *Escherichia coli* tidak memberikan perbedaan antara kontaminasi manusia dan hewan. Jumlah total kelompok ini juga jauh lebih rendah daripada *total coliform*

Electrodialysis adalah proses pemisahan membran di mana gaya penggerakannya adalah potensial listrik yang melintasi membran.

flokulasi adalah proses penggumpalan (*agglomeration*) dari koloid yang tidak stabil menjadi gumpalan partikel halus (mikroflok), dan selanjutnya menjadi gumpalan partikel yang lebih besar dan dapat diendapkan dengan cepat.

Flokulasi adalah untuk menyebabkan partikel koloid yang tidak stabil bertumbukan satu sama lain dan membentuk agregat bersama endapan hasil koagulan agar dapat dengan mudah dihilangkan dengan cara sedimentasi atau flotasi. Proses flokulasi berlangsung dengan pengadukan lambat agar campuran dapat membentuk

flok-flok yang berukuran lebih besar dan dapat mengendap dengan cepat.

Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Kesadahan air terjadi karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , atau dapat juga disebabkan adanya ion-ion lain dari polyvalent metal (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil.

Klorin adalah senyawa kimia yang berfungsi untuk menghambat perkembangan mikroorganisme penyebab penyakit di air.

Koagulasi adalah proses destabilisasi koloid dengan penambahan senyawa kimia yang disebut zat koagulan

Koagulasi adalah proses di mana partikel koloid dalam air yang tidak stabil (sifat partikel koloid yang berubah) membentuk flok melalui proses flokulasi yang dapat dengan mudah dipisahkan dari air

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik

Korosi adalah suatu proses elektrokimia dimana atom-atom akan bereaksi dengan zat asam dan membentuk ion-ion positif (kation).

Nilai pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen $[\text{H}^+]$ dalam air yang dinyatakan sebagai nilai logaritmik. pH memberikan indikasi seberapa asam atau basa air tersebut.

Patogen adalah mikroorganisme penyebab penyakit seperti kolera, gastroenteritis, hepatitis, dan lain-lain.

Penyaringan pasir adalah proses sederhana di mana air melalui saringan berupa lapisan pasir dalam wadah yang dibuat khusus

Proses flotasi adalah proses pemisahan material berharga dari pengotornya dengan menggunakan sifat permukaan hidrofobik dan hidrophilik material

Proses sedimentasi adalah proses di mana flok dibiarkan mengendap dari air dan terkumpul di dasar tangki sedimentasi sebagai lumpur, dimana lumpur tersebut kemudian dibuang secara teratur

Sedimentasi adalah proses di mana agregat yang telah terbentuk selama koagulasi - flokulasi dibiarkan mengendap dari air.

Total coliform adalah sekelompok bakteri yang paling sering digunakan sebagai organisme indikator untuk air minum

Trihalomethane (THM) adalah senyawa yang terdiri dari empat bahan kimia, yaitu kloroform, bromodiklorometan, dibromokolometan, dan bromoform.

True color adalah warna yang ditimbulkan oleh zat-zat anorganik. Pengukuran warna menggunakan skala TCU (*True Color Unit*).

Zat alkali adalah zat yang digunakan dalam pengaturan pH dan alkalinitas air baku, agar proses koagulasi-flokulasi dapat berjalan dengan baik serta efektif.

Zat organik koloid, yaitu asam humat dan asam fulvat dengan massa molekul berkisar antara 800 dan 50.000 Dalton (satuan Massa Mol), umumnya menimbulkan warna pada air. Koloid logam hidroksida (misalnya besi) juga menyebabkan warna dalam air.

INDEKS

A

air · i, ii, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153, 154, 155, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 173

Air · 31, 33, 41, 42, 46, 47, 58, 65

aliran · 17, 29, 30, 32, 33, 54, 84, 87, 89, 100, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 124, 125, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 137, 145, 149, 150, 152, 155, 156, 157

Alkalinitas · 15

anorganik · 1, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 24, 34, 68, 148

B

bahan · 24

Bakteri · 11

bau · 24

biologi · 3, 25, 121

boiler · 1, 77

D

disinfeksi · 2, 4, 5, 14, 20, 41, 58, 59, 61, 62, 67

disinfektan · 19, 20, 21, 58, 61, 62

dispersi · 8, 9, 114, 124

distribusi · 23

E

engineer · 6

evaporasi · 7

evapotranspirasi · 7

F

faktor · 23

fase terdispersi · 9

fase terpisah · 9

filtrasi · i, 5, 11, 28, 36, 37, 40, 54, 55, 56, 65, 67, 70, 75, 81, 122, 123, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 135, 136, 138, 144, 146, 147, 154, 155, 159

fisik · 1, 18, 21, 24, 27, 52, 58, 81, 99

fleksibel · 6, 95

flotasi · i, 40, 41, 45, 48, 51, 52, 53, 54, 97, 109, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 161

G

gas · 8, 9, 18, 19, 24, 35, 58, 59, 60, 72, 112, 122, 123

H

herbisida · 14, 154

heterogen · 8

homogen · 10, 35

I

insinyur · 6

K

karakteristik · 1, 7, 17, 21, 65, 93, 101, 108, 109, 114, 147, 152, 157
Kekeruhan · 10, 22, 28, 31, 118
kesadahan · 12, 16, 17, 36, 67
kimia · 1, 3, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 27, 29, 34, 36, 37, 39, 40, 43, 52, 58, 63, 64, 68, 70, 74, 75, 77, 78, 82, 92, 94, 96, 114, 116, 127, 138, 144, 145, 148, 154, 155, 158
koagulasi-flokulasi · i, 5, 10, 28, 36, 39, 41, 45, 65, 79, 95, 97, 100, 103, 123, 130
kolektif · 1
koloid · 7, 8, 9, 10, 11, 21, 22, 36, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 53, 62, 63, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 81, 82, 83, 84, 87, 90, 115, 120, 128, 148, 152, 166
kondensasi · 7, 75, 78
konduktivitas · 12, 23
korosi · 2, 17, 18, 23, 39, 64, 95, 96
kotoran · 25, 26, 35, 63, 83, 84, 87, 90, 143, 152

L

listrik · 9, 12, 21, 23, 38, 67, 70, 72, 75

M

mikroalga · 11
mikroba · 4, 14, 168
mikrobiologi · 1, 3, 4, 35
mikroorganisme · 1, 3, 6, 19, 25, 36, 57, 72, 143, 148, 151
molekul · 10, 11, 12, 14, 37, 66, 68, 139, 151, 152, 158

O

operator · 6, 40, 117, 128

organik · 6, 7, 8, 10, 11, 14, 20, 24, 31, 34, 35, 37, 45, 48, 62, 66, 67, 68, 71, 109, 112, 132, 136, 139, 148, 154, 158
organisme · 4, 7, 20, 21, 25, 26, 36, 37, 38, 59, 62, 63, 117, 136

P

pelarut · 9, 14, 37
pestisida · 14, 154, 155
pH · 15, 18, 21, 22, 23, 36, 40, 44, 58, 61, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 90, 93, 141, 144, 147, 156
pipa · 23
pompa · 30, 32, 33, 85, 117, 121

S

Saringan · 29, 35, 54, 131, 135, 166, 167
sedimentasi · i, 5, 9, 11, 28, 39, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 64, 65, 69, 70, 94, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 122, 123, 127, 130, 142, 162
senyawa · 8, 11, 12, 14, 18, 19, 20, 21, 35, 37, 45, 58, 68, 70, 71, 72, 76, 132, 139, 155, 158
sistem · 23
SPAM · 31
sublimasi, · 7

T

tekanan · 18, 32, 38, 55, 67, 119, 120, 122, 124, 125, 147, 148, 153, 154, 156, 157, 159
terintegrasi · 6, 27
terionisasi · 12
tersuspensi · 1, 7, 8, 9, 24, 36, 39, 40, 41, 42, 64, 71, 72, 74, 75, 91, 106, 108, 115, 128, 131, 136, 152, 154
transpirasi · 7

treatment · 5, 7, 27, 30, 34, 39, 41, 42, 68,
123, 126, 144, 159, 162

U

udara · 24

ukuran · 8, 9, 20, 22, 23, 27, 36, 55, 67, 70,
72, 99, 100, 102, 109, 111, 114, 124,
128, 130, 135, 136, 137, 140, 143, 147,
148, 151, 153, 158

Unit · i, 22, 24, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35,
38, 49, 50, 51, 52, 163, 164, 165, 166

V

virus · 3, 11, 57, 66, 67, 68, 72, 74, 154,
158

Z

zat · 24

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T., IPM.

Lahir di Barabai, Kab. Hulu Sungai Tengah, Kalimantan Selatan 12 Maret 1970. Sarjana Teknik Mesin diraih di FT UMM Malang tahun 1994. Magister Teknik Industri diraih di ITS Surabaya pada tahun 2002. Doktor Teknik Mesin diraih tahun 2017 di UB Malang. Gelar Profesi Insinyur diraih tahun 2020, dan SIP BK Mesin PII Pusat tahun 2020. Penulis menjadi dosen di FT ULM 1995 s/d sekarang, pernah mengajar di Program Studi Teknik Sipil, Teknik Kimia, Teknik Pertambangan FT ULM. Penulis pernah menjadi Ketua Program Studi Teknik Mesin 2007-2011, PD III FT ULM 2011-2012. Selain menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Mesin 2007- sekarang, juga sebagai team Mekanikal, Elektrikal dan Plambing, Tenaga Ahli Bangunan Gedung (TABG) 2020-sekarang. Penulis telah melakukan banyak penelitian dalam bidang manufaktur, industri pengolahan air bersih, yang dipublikasikan pada prosiding, jurnal nasional dan jurnal internasional, termasuk menulis modul, bahan ajar dan buku ajar. Salah satu buku yang pernah diterbitkan berjudul “Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya” pada tahun 2021.



Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T. Lahir di Martapura, Kab. Banjar, Kalimantan Selatan 22 Maret 1992. Sarjana Teknik Mesin diraih di Program Studi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru tahun 2014. Penulis melanjutkan pendidikannya untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Mesin yang diraih di Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2017. Penulis berprofesi sebagai dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat dari tahun 2018 s/d sekarang. Beliau pernah menjabat Kepala Laboratorium Mekatronika Program Studi Teknik Mesin dalam kurun waktu 2018-2020, serta yang terbaru menjabat sebagai Dosen Pembimbing Wasaka Team Car ULM 2021-sekarang. Penulis telah terlibat dalam beberapa penelitian yang berfokus pada bidang konversi energi, yang dipublikasikan pada prosiding nasional dan internasional, jurnal nasional, dan jurnal internasional. Penulis juga aktif dalam menulis buku, dimana salah satu buku karangan penulis berjudul “Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya” telah diterbitkan pada tahun 2021.