

# Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya

Buku ini fokus membahas tentang perkembangan dan teknologi pengolahan air bersih. Konten di dalamnya mencakup peran air dan siklus hidrologi, perkembangan air minum di Indonesia dari pra kemerdekaan hingga era reformasi, serta sistem transmisi dan distribusi air bersih. Disusun dengan bahasa yang mudah dipahami dan didukung referensi ilmiah, sehingga dapat menambah wawasan para akademisi, pemangku kebijakan, dan berbagai lapisan masyarakat dalam pengelolaan air berkelanjutan.



Published by:  
IRDH (International Research and Development for Human Beings)  
(Anggota IKAPI) No. 156-JTE-2017  
Office:  
Jl. Sokaaya 39, Purwokerto  
Perum New Villa Bukit Sengkaling C8 No.1, Malang  
☎ 081 357 217 319 & ☎ 089 621 424 412  
🌐 www.irhcenter.com 📧 buku.irh@gmail.com



Dr. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T  
Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T

Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya

2024

# Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya



Dr. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T

**AIR BERSIH : PERKEMBANGAN DAN TEKNOLOGI  
PENGOLAHANNYA**

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

**CV. IRDH**

# **AIR BERSIH : PERKEMBANGAN DAN TEKNOLOGI PENGOLAHANNYA**

Penulis : Dr. Ir. Mastiadi Tamjidillah, S.T., M.T., IPM.  
Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T.  
Editor : Dr. Ir. Sri Handayani, M.P.  
Andy Nugraha, S.T., M.T.  
Penata Letak : Ravelia Agatha, S.H.  
Pracetak dan Produksi : Dito Aditia, S.Pi.  
Perancang Sampul : Muhamad Usman Efendi

Hak Cipta © 2021, 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 November, 2021

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](http://www.irdhcenter.com)

Email: [buku.irdh@gmail.com](mailto:buku.irdh@gmail.com)

ISBN : 978-623-375-014-1

i-ix + 177 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 “Air Bersih : Perkembangan dan Teknologi Pengolahannya” dengan baik.

Sumber literatur dari penulisan ini adalah buku Pengembangan Air Minum Indonesia dari Masa ke Masa 1800an – 2009 yang ditulis oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tahun 2015, dan ditambah dengan literatur lain berupa buku teks, artikel ilmiah, publikasi penelitian, serta sumber pustaka dari website untuk memperkaya konten dari buku ini.

Buku ini dapat dipergunakan sebagai sumber pustaka bagi mahasiswa Fakultas Teknik yang sedang mempelajari pengolahan air bersih dan teknologinya, karena sepanjang pengalaman penulis mengajar mata kuliah Teknologi Tepat Guna Lahan basah terdapat banyak mahasiswa yang mengeluhkan kurangnya sumber referensi sistem dan teknologi pengolahan air bersih, terutama air sungai yang biasanya dimanfaatkan untuk sumber air baku dalam konsumsi air bersih.

Buku ini terdiri dari tujuh bagian, bab pertama berisi peran air dan siklus hidrologi, bab kedua mengenai perkembangan air minum di Indonesia era pra kemerdekaan, bab ketiga mengenai perkembangan air minum di Indonesia awal kemerdekaan, bab keempat mengenai perkembangan air minum di Indonesia era orde baru, bab kelima mengenai perkembangan air minum di Indonesia era reformasi, bab

keenam mengenai sistem penyediaan air bersih, serta bab ketujuh mengenai sistem transmisi dan distribusi air bersih.

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, maka 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 belajar dan mendalami air bersih, terutama yang berfokus pada perkembangan, sistem, dan teknologi pengolahannya.

Banjarbaru, November 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| KATA PENGANTAR.....   | i   |
| DAFTAR ISI .....  | iii |
| DAFTAR GAMBAR.....  | vi  |
| DAFTAR TABEL .....  | ix  |
| BAB I PERAN AIR DAN SIKLUS HIDROLOGI.....                                 | 1   |
| A. Pendahuluan .....  | 1   |
| B. Fungsi Air Pada Tubuh Manusia.....                                     | 2   |
| C. Penggunaan Air di Berbagai Aspek .....                                 | 6   |
| D. Siklus Hidrologi.....  | 8   |
| BAB II PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : ERA<br>PRA KEMERDEKAAN ..... | 26  |
| A. Sejarah Umum Air dan Sanitasi .....                                    | 26  |
| B. Perkembangan Air Minum di Indonesia Era<br>Pra Kemerdekaan .....       | 30  |
| BAB III PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA :<br>AWAL KEMERDEKAAN .....   | 38  |
| A. Sejarah Perkembangan.....  | 38  |
| B. Perkembangan di Bidang Kesehatan dan Sanitasi .....                    | 41  |

|   |           |
|---|-----------|
| C. Model kelembagaan dan awal terbentuknya PDAM .....                   | 43        |
| <b>BAB IV PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : ERA ORDE BARU .....</b> | <b>48</b> |
| A. Sejarah Perkembangan .....   | 48        |
| B. Pembangunan Lima Tahun Tahap Pertama (Pelita I).....                 | 50        |
| C. Pembangunan Lima Tahun Tahap Kedua (Pelita II).....                  | 52        |
| D. Pembangunan Lima Tahun Tahap Ketiga (Pelita III) .....               | 55        |
| E. Pembangunan Lima Tahun Tahap Keempat (Pelita IV) ....                | 60        |
| F. Pembangunan Lima Tahun Tahap Kelima (Pelita V) .....                 | 62        |
| G. Pembangunan Lima Tahun Tahap Keenam (Pelita VI).....                 | 63        |
| <b>BAB V PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA :</b>                      |           |
| <b>ERA REFORMASI .....</b>  | <b>66</b> |
| A. Sejarah Perkembangan .....   | 66        |
| B. Masa transisi.....   | 66        |
| C. Periode Pelaksanaan RPJMN Tahap I dari RPJP<br>2005 - 2025.....      | 68        |
| <b>BAB VI SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH.....</b>                         | <b>76</b> |
| A. Gambaran Umum .....  | 76        |
| B. Definisi dan Persyaratan Air Minum dan Air Bersih .....              | 77        |
| C. Sumber Air Bersih .....  | 90        |

|  |            |
|--|------------|
| D. Sistem Pelayanan Air Bersih .....                       | 99         |
| E. Kebutuhan air bersih.....                               | 108        |
| <b>BAB VII SISTEM TRANSMISI DAN DISTRIBUSI AIR BERSIH</b>  | <b>120</b> |
| A. Gambaran Umum .....                                     | 120        |
| B. Bangunan pengambilan dan sistem transmisi air bersih... | 120        |
| C. Proses pengolahan air bersih .....                      | 126        |
| D. Sistem distribusi air bersih .....                      | 135        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                 | <b>152</b> |
| <b>GLOSARIUM .....</b>                                     | <b>168</b> |
| <b>INDEKS .....</b>  | <b>172</b> |
| <b>TENTANG PENULIS.....</b>                                | <b>176</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. Fungsi air dalam tubuh manusia.....                             | 4  |
| Gambar 2. Pemakaian air di kota (a) Hydrant (b) Kran air minum.....       | 7  |
| Gambar 3. Skema siklus hidrologi .....                                    | 10 |
| Gambar 4. Siklus panjang.....   | 12 |
| Gambar 5. Siklus menengah.....  | 12 |
| Gambar 6. Siklus pendek.....  | 13 |
| Gambar 7. Proses evapotranspirasi.....                                    | 15 |
| Gambar 8. Proses transpirasi pada tumbuhan.....                           | 16 |
| Gambar 9. Infiltrasi .....  | 19 |
| Gambar 10. Hutan konifer .....  | 20 |
| Gambar 11. Perkolasi .....  | 21 |
| Gambar 12. Ilustrasi kehidupan di sekitar Sungai Tigris dan Eufrat....    | 26 |
| Gambar 13. The United Nations Water Conference, 1977.....                 | 29 |
| Gambar 14. Sungai Ciliwung, Jakarta.....                                  | 31 |
| Gambar 15. Water Toren, Magelang.....                                     | 32 |
| Gambar 16. Waterleiding Batavia.....                                      | 34 |
| Gambar 17. Sistem jaringan pipa yang dibangun.....                        | 36 |
| Gambar 18. Kegiatan MCK di Batavia .....                                  | 36 |
| Gambar 19. Menara air Tirtanadi, Medan .....                              | 37 |
| Gambar 20. IPA Pejompongan I.....   | 38 |
| Gambar 21. Menara air kapasitas 750 m <sup>3</sup> di Manado.....         | 39 |
| Gambar 22. IPA di Bandung hasil kerjasama dengan<br>Degremont, 1962 ..... | 40 |
| Gambar 23. Program Studi Teknik Lingkungan ITB.....                       | 43 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 24. Jaringan penyuplai air PDAM Tirtanadi Medan<br>cabang Sibolangit ..... | 53  |
| Gambar 25. Control room IPA Pejompongan .....                                     | 56  |
| Gambar 26. SPAM IKK Sindang Pasekan Kab. Indramayu .....                          | 58  |
| Gambar 27. Instalasi pengolahan limbah tinja .....                                | 59  |
| Gambar 28. Teknologi Pengolahan Air dengan SARUT .....                            | 60  |
| Gambar 29. Hidran umum .....  | 63  |
| Gambar 30. SPAM Perdesaan, DI Yogyakarta .....                                    | 64  |
| Gambar 31. Sejarah BPPSPAM .....  | 70  |
| Gambar 32. Perubahan Kelembagaan BPPSPAM .....                                    | 71  |
| Gambar 33. PDAM Intan Banjar .....  | 73  |
| Gambar 34. PDAM Giri Menang .....   | 73  |
| Gambar 35. Peran BPPSPAM dalam pengembangan PDAM.....                             | 74  |
| Gambar 36. Konstruksi sumur gali.....   | 101 |
| Gambar 37. Konstruksi sumur pompa tangan .....                                    | 102 |
| Gambar 38. Konstruksi sumur bor .....   | 102 |
| Gambar 39. Konstruksi SPAH .....  | 103 |
| Gambar 40. Kegiatan P3A Desa Pungut Tengah, Jambi.....                            | 105 |
| Gambar 41. Kolam sumber mata air, Sulawesi Tengah .....                           | 107 |
| Gambar 42. River intake.....  | 121 |
| Gambar 43. Direct intake dengan saluran di bagian bawah<br>sumber air .....       | 122 |
| Gambar 44. Canal intake .....   | 123 |
| Gambar 45. Reservoir intake .....   | 123 |
| Gambar 46 Area pengumpulan mata air (gravity spring).....                         | 124 |
| Gambar 47. Pompa pada SPAM Regional Kabupaten Gianyar, Bali                       | 125 |
| Gambar 48. Air valve pada IPA Kab. Tangerang, Banten .....                        | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 49. Intake pada SPAM IKK Kab. Bangka Tengah,<br>Bangka Belitung .....              | 128 |
| Gambar 50. Bak prasedimentasi pada SPAM Regional Kabupaten<br>Gianyar, Bali.....          | 129 |
| Gambar 51. Koagulator pada SPAM Regional Kabupaten<br>Gianyar, Bali.....                  | 129 |
| Gambar 52. Bak flokulasi pada SPAM Regional Kabupaten<br>Gianyar, Bali.....               | 130 |
| Gambar 53. Bak sedimentasi pada SPAM IKK Kab. Madiun,<br>Jawa Timur .....                 | 130 |
| Gambar 54. Filtrasi pada SPAM IKK Kab. Bengkalis, Riau .....                              | 131 |
| Gambar 55. Tangki bahan kimia pada SPAM IKK Kabupaten Pacitan,<br>Jawa Timur .....        | 132 |
| Gambar 56. Pompa dosing pada IPA Kab. Tangerang, Banten .....                             | 133 |
| Gambar 57. Injektor bahan kimia pada SPAM IKK Kab. Tulang<br>Bawang, Lampung.....         | 133 |
| Gambar 58. Reservoir pada SPAM Regional Kab. Bandung,<br>Jawa Barat .....                 | 134 |
| Gambar 59. Jaringan pipa distribusi sistem cabang .....                                   | 137 |
| Gambar 60. Jaringan pipa distribusi sistem cabang .....                                   | 138 |
| Gambar 61. Perpipaan distribusi pada SPAM Regional Kabupaten<br>Bandung, Jawa Barat ..... | 144 |
| Gambar 62. Box valve pada SPAM IKK Kab. Biak Timur, Papua ...                             | 144 |
| Gambar 63. Flow meter pada SPAM IKK, Kab. Majene,<br>Sulawesi Barat.....                  | 145 |

## DAFTAR TABEL

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 1. Uraian fungsi air dalam tubuh manusia.....   | 5   |
| Tabel 2. Distribusi air di bumi.....  | 9   |
| Tabel 3. Faktor yang mempengaruhi evaporasi.....  | 14  |
| Tabel 4. Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan.....  | 18  |
| Tabel 5. Klasifikasi surface run off .....  | 23  |
| Tabel 6. Pembangunan SPAM di beberapa ibu kota provinsi.....  | 46  |
| Tabel 7. Persyaratan kualitas air minum sesuai PERMENKES RI No.<br>492/MENKES/PER/IV/2010.....      | 86  |
| Tabel 8. Persyaratan kualitas air bersih sesuai PERMENKES RI<br>Nomor: 416/MENKES/PER/IX/1990 ..... | 89  |
| Tabel 9. Klasifikasi air tanah.....   | 93  |
| Tabel 10. Klasifikasi sumber air baku air bersih.....   | 98  |
| Tabel 11. Perbedaan hidran umum, kran umum, dan terminal air .....                                  | 106 |
| Tabel 12. Standar kebutuhan air domestik .....  | 109 |
| Tabel 13. Kebutuhan air non domestik untuk kategori I, II, III, IV ...                              | 112 |
| Tabel 14. Kebutuhan air non domestik untuk kategori V (desa).....                                   | 112 |
| Tabel 15. Kebutuhan air non domestik kategori lain.....   | 113 |
| Tabel 16. Klasifikasi pengolahan air bersih .....   | 127 |
| Tabel 17. Keuntungan dan kerugian sistem cabang dan<br>sistem melingkar.....                        | 139 |
| Tabel 18. Klasifikasi reservoir .....   | 141 |
| Tabel 19. Daftar standar perlengkapan perpipaan .....   | 147 |

# **BAB I**

## **PERAN AIR DAN SIKLUS HIDROLOGI**

### **A. Pendahuluan**

Air merupakan salah satu elemen utama di Bumi yang menjadi bagian tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia. Tentunya makhluk hidup tidak dapat hidup jika tidak ada air, sehingga air sangat dibutuhkan untuk menjaga kelangsungan makhluk hidup. Bahkan di dalam tubuh pun, air berperan penting untuk mengisi cairan dalam tubuh agar terhindar dari dehidrasi. Selain untuk penghilang rasa haus dan manfaat utama lainnya air untuk tubuh, air juga memiliki segudang manfaat lain yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupan.

Air yang kita gunakan sehari-hari seperti minum, memasak, mandi dan lainnya harus dalam keadaan bersih sehingga kita dapat terhindar dari penyakit yang disebabkan karena kualitas air buruk. Dengan menggunakan air bersih kita dapat terhindar dari penyakit seperti diare, kolera, disentri, tipes, cacangan, penyakit kulit hingga keracunan. Untuk itu wajib bagi seluruh anggota keluarga dalam menggunakan air bersih setiap hari dan menjaga kualitas air tetap bersih di lingkungannya.

Mendapatkan air yang bersih dan jernih merupakan idaman seluruh umat manusia di seluruh dunia. Pasalnya tidak semua tempat dapat dengan mudah mengakses air bersih. Di antaranya ada yang mengharuskan manusia melakukan pencarian air hingga ke sumber mata airnya, dan ada beberapa juga di antaranya harus melewati proses penyaringan yang cukup rumit hingga akhirnya mendapatkan air bersih. Sebab air yang bersih tidak hanya tercermin dari kejernihannya, namun

juga harus terbebas dari kandungan zat asing, sehingga layak untuk dikonsumsi oleh manusia.

## **B. Fungsi Air Pada Tubuh Manusia**

Air adalah sumber daya yang paling berharga dan melimpah keberadaannya di permukaan bumi. Permukaan bumi pada dasarnya terdiri dari 71% air, makanya ketika kita melihat permukaan bumi dari luar angkasa, warna biru mendominasi warna yang diperlihatkan oleh bumi. 96% air di bumi ini bersifat asin sebagai air laut, sedangkan sisanya sekitar 4% bersifat tawar. Kurang dari 3% berwujud salju dan es, sedangkan 1% lainnya sebagai air tanah, dan sisanya kurang dari 0,1% sebagai air permukaan (sungai dan danau), serta berada di biosfer dan atmosfer.

Menurut Rao dan Mamata (2004), air normal yang dapat digunakan untuk kehidupan umumnya tidak berbau, tidak berwarna dan tawar (tidak ada rasanya). Seandainya ada ditemukan rasa pada air pada umumnya diikuti dengan perubahan pH air. Bau yang berasal dari dalam air dapat langsung berasal dari bahan-bahan buangan atau air limbah dari kegiatan industri atau dapat pula berasal dari hasil degradasi bahan buangan oleh mikroba yang hidup di dalam air. Mikroba di dalam air akan mengubah bahan buangan organik terutama gugus protein secara degradasi menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau (Hendricky et al, 2005).

Banyak zat yang larut dalam air sehingga air sering disebut sebagai pelarut universal. Karena itu, untuk penggunaannya di alam, air jarang digunakan secara murni dan beberapa sifatnya mungkin sedikit berbeda dari zat murni. Namun, ada juga senyawa yang pada dasarnya,

jika tidak sepenuhnya, tidak dapat larut dalam air. Di alam, air berada dalam tiga wujud, yaitu cair, padat, dan gas. Air mempunyai titik beku 0°C pada tekanan 1 atm, titik didih 100°C dan kerapatan 1,0 g/cm pada temperatur 4°C (Schroeder, 1977). Ukuran satu molekul air sangat kecil, umumnya bergaris tengah sekitar 3 Å (0,3 nm atau  $3 \times 10^{-8}$  cm).

Air (H<sub>2</sub>O) dalam kandungannya terdiri dari senyawa Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan senyawa Oksigen (O<sub>2</sub>). Kedua senyawa yang membentuk air ini merupakan komponen pokok dan mendasar dalam memenuhi kebutuhan seluruh makhluk hidup di bumi selain matahari yang merupakan sumber energi. Makhluk hidup di dunia tidak dapat hidup tanpa air. Bahkan di dalam tubuh kita terdiri dari 55% - 78% air (tergantung pada ukuran badan). Pada tubuh bayi terdapat air sebanyak 80%, orang dewasa sebanyak 70%, dan lanjut usia sebanyak 50%. Komposisi air dalam organ tubuh kita yaitu: paru-paru (90%), darah (82%), kulit (80%), otot (75%), otak (70%), serta tulang (22%).

Air berfungsi menjaga kesehatan tubuh. Konsumsi cairan idealnya sekitar 2,5 liter per hari. Kebutuhan ini tentunya disesuaikan dengan aktivitas sehari-hari, usia, kondisi cuaca dan kesehatan. Masalah pada kesehatan akan muncul apabila tubuh mengalami kekurangan air. Beberapa hal yang menyebabkan tubuh kekurangan cairan antara lain kehilangan cairan abnormal melalui kulit, penurunan asupan cairan, dan perdarahan.

Air dalam tubuh sangat besar manfaatnya, sehingga tidak satu pun fungsi tubuh dapat bekerja tanpa air. Air yang diminum akan diserap oleh usus dan diedarkan ke seluruh tubuh dalam bentuk cairan seperti darah dan komponennya. Ginjal bertugas menyaring partikel

buruk dan akan membantu untuk mengeluarkannya, melalui buang air kecil.



Gambar 1. Fungsi air dalam tubuh manusia

(Sumber: <https://adibusada.ac.id/artikel/>)

Air memainkan banyak peran penting dalam tubuh kita, yang bisa diuraikan sebagai berikut:

**Tabel 1. Uraian fungsi air dalam tubuh manusia**

| <b>Fungsi</b>                         | <b>Keterangan</b>   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Pembentuk sel dan cairan tubuh</b> | Air berperan penting dalam pembentukan berbagai cairan tubuh, seperti darah, cairan lambung, hormon, enzim dan sebagainya. Selain itu air juga terdapat dalam otot dan berguna menjaga tonus otot sehingga otot mampu berkontraksi.   |
| <b>Zat pelarut</b>                    | Pada proses pencernaan makanan air berperan melarutkan zat-zat gizi dan karena air merupakan zat anorganik sehingga tidak dicerna. Air dengan cepat melewati usus halus dan sebagian besar diserap kemudian turut berfungsi sebagai salah satu komponen mukus agar sisa zat makanan dapat keluar sebagai feses. |
| <b>Sarana pengeluaran zat sisa</b>    | Air merupakan sarana untuk mengeluarkan sisa metabolisme yang tidak diperlukan tubuh melalui pembuangan saluran kemih, saluran cerna, saluran nafas, dan kulit.   |
| <b>Zat pelindung / bantalan</b>       | Pada beberapa jaringan tubuh terdapat cairan yang melapisi yang berfungsi melindungi organ di dalamnya (otak, mata, medula spinalis, dan kantong amniom dalam rahim).   |
| <b>Pengatur temperatur</b>            | Air menghasilkan panas, menyerap dan menghantarkan panas ke seluruh tubuh sehingga dapat menjaga temperatur tubuh tetap stabil.   |
| <b>Sarana transportasi</b>            | Air merupakan sarana transportasi yang efektif.   |

|  |   |
|--|---|
|  | Pada sistem pernapasan, air membantu transportasi oksigien ke seluruh tubuh. Struktur air (H <sub>2</sub> O) terdiri atas dua atom hidrogen dan satu atom oksigen sehingga mudah bergerak dari satu kompartemen sel ke kompartemen sel lainnya, dari satu sistem tubuh ke sistem lainnya. |
|--|---|

(Sumber: Andriani, A., 2020)

### **C. Penggunaan Air di Berbagai Aspek**

Semua makhluk hidup, baik manusia, hewan, serta tumbuhan, akan mati jika tidak ada air. Air biasanya digunakan untuk minum, mencuci, membersihkan, memasak, bercocok tanam/bertani serta banyak hal lainnya. Rata-rata seseorang membutuhkan sekitar 150-250 galon air setiap hari. Bahkan porsi penggunaan air bisa lebih besar jika digunakan oleh industri untuk membangkitkan listrik, produksi barang, serta sarana pengangkutan orang dan barang.

Penggunaan rumah tangga pada umumnya mengkonsumsi banyak air. Dibutuhkan antara 30 sampai 40 galon untuk keperluan sanitasi, baik untuk mandi, toilet, maupun mencuci. Rata-rata penggunaan toilet sekitar 5 galon air per siram, 20-40 galon air untuk satu kali mandi, dan 25 galon per beban untuk penggunaan mesin cuci pakaian. Wastafel dapur membutuhkan sekitar 20 galon per hari untuk menyiapkan makanan dan mencuci piring kotor. Wastafel kamar mandi, yang digunakan untuk mencuci tangan, mencukur, dan menggosok gigi, membutuhkan sekitar 15 galon per hari. Angka-angka tersebut diperkirakan untuk rata-rata rumah tangga di berbagai negara.

Sebagian besar air juga digunakan di untuk keperluan di luar ruangan untuk menyiram tanaman, kebun bunga, kebun sayur, mencuci mobil serta mengisi kolam renang. Dalam penggunaan air untuk keperluan *outdoor* ini, kita harus berhati-hati agar air tersebut tidak mencemari lingkungan sekitar. Seperti contoh sederhana, banyak orang yang menggunakan bahan kimia pada tanaman dan kebun mereka, dan kemudian menyiramnya dengan air. Air akan membersihkan dan melarutkan bahan kimia tersebut dari tanaman, yang kemudian mengalir ke saluran pembuangan air atau got yang terhubung langsung menuju sungai yang merupakan habitat ikan dan hewan lainnya. Pencemaran seperti ini yang dikhawatirkan berpotensi menyebabkan terbunuhnya ikan dan hewan yang hidup di sekitar sumber air yang tercemar.



(a)



(b)

Gambar 2. Pemakaian air di kota (a) Hydrant (b) Kran air minum

(Sumber: <https://firehydrant.id/> dan <https://kumparan.com/> )

Pemakaian air juga bisa dilihat di kota-kota di seluruh dunia. Pengaplikasian air di kota bisa terlihat pada *hydrant*, pembersihan jalan, toilet umum, dan penyiraman tempat umum seperti taman, rumput, pohon, dan kebun bunga. Untuk mempercantik kota, air

diperuntukkan sebagai pengisi air mancur dan air minum umum. Air juga menunjang kegiatan bisnis yang ada di masyarakat, seperti di restoran, rumah sakit, *laundry*, lapangan golf dan lapangan sepakbola, penginapan dan hotel, pencucian motor dan mobil, serta semua bisnis lainnya di kota.

Di sektor pertanian, air juga dibutuhkan dalam jumlah yang besar. Ketika memikirkan tentang air di pertanian, tentunya identik dengan kegiatan menyiram tanaman, tetapi selain itu sebenarnya jumlah air yang dibutuhkan di peternakan juga sangat besar. Hewan ternak seperti sapi, kambing, domba, maupun ayam tentunya membutuhkan air untuk tetap hidup. Untuk hasil panen yang lebih melimpah dan mencegah hama pertanian, air digunakan dalam penyebaran pupuk, herbisida, dan pestisida. Tentunya penggunaan bahan kimia dalam pertanian ini harus bijak agar tidak mencemari air, tanah, maupun lingkungan sekitar. Sebagian besar air yang digunakan di pertanian juga digunakan untuk pengairan / irigasi, yang biasanya dimanfaatkan untuk budidaya ikan seperti tambak ikan air tawar atau keramba apung.

#### **D. Siklus Hidrologi**

Bila kita amati, pada saat musim hujan volume air sangat berlimpah, bahkan berpotensi mengakibatkan banjir di beberapa daerah. Sebaliknya, apabila musim kemarau datang banyak daerah yang mengalami krisis air, pertanyaannya kemanakah air tersebut? Apakah jumlah air tersebut mengalami pengurangan?

Bumi tempat kita hidup ternyata merupakan satu-satunya planet dalam sistem tata surya yang sebagian besar wilayahnya didominasi

oleh wilayah perairan, baik dalam bentuk padat (lembaran-lembaran salju dan es), cair, maupun bentuk gas (uap air). Berdasarkan hasil pengamatan para ahli, hampir  $\frac{3}{4}$  bumi tertutup oleh air, baik yang terletak di kawasan darat dalam bentuk air permukaan (sungai, danau, rawa, laut), dan air tanah, ataupun di atmosfer dalam bentuk uap air. Jumlah total air di bumi termasuk cairan, gas dan es sekitar 336 juta mil kubik (1,4 miliar km<sup>3</sup>), dan sebanyak 97,2% berada di samudera.

**Tabel 2. Distribusi air di bumi**

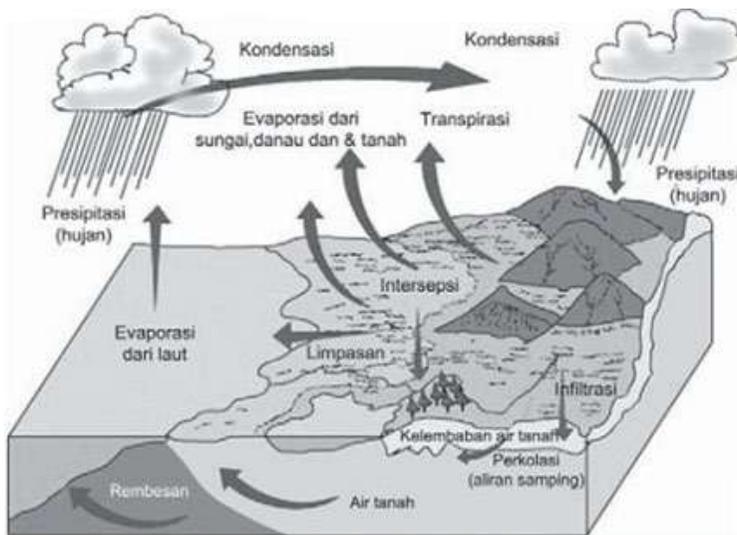
| No | Jenis bentang perairan   | Persentase |
|----|--|------------|
| 1  | Bentang perairan laut (air asin)                               | 97,20      |
| 2  | Bentang perairan darat (air tawar) sekitar 2,80% terdiri atas: |            |
|    | a. Lembaran es dan gletser                                     | 2,15       |
|    | b. Air tanah artesis   | 0,62       |
|    | c. Danau air tawar   | 0,009      |
|    | d. Danau air asin (danau garam)                                | 0,008      |
|    | e. Air tanah freatik   | 0,005      |
|    | f. Air di atmosfer (uap air)                                   | 0,001      |
|    | g. Sungai  | 0,0001     |

(Sumber: Strahler, A.N, 1970)

Bentang perairan yang menyelubungi bumi dinamakan Hidrosfer. Hidrosfer berasal dari kata *hydro* berarti air dan *sphaira* berarti lapisan. Jadi hidrosfer merupakan bagian lapisan air yang menutupi atau berada dalam bumi kita. Cabang ilmu kebumihan yang secara khusus mempelajari bentang perairan terutama di kawasan darat adalah Hidrologi, sedangkan cabang keilmuan yang mempelajari

permasalahan yang berhubungan dengan bentang perairan laut dinamakan Oseanografi.

Sebagai informasi, air yang kita manfaatkan sekarang sebenarnya telah terbentuk jutaan tahun silam oleh suatu proses yang dinamakan siklus hidrologi. Siklus hidrologi adalah model konseptual yang menggambarkan penyimpanan dan pergerakan air antara biosfer, atmosfer, litosfer, dan hidrosfer, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Air di permukaan bumi yang selalu bersirkulasi tersebut kemudian ditampung di atmosfer, lautan, danau, sungai, tanah, gletser, ladang salju, dan air tanah.



Gambar 3. Skema siklus hidrologi

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

Siklus atau perputaran massa air diawali melalui proses pemanasan muka bumi oleh sinar matahari. Akibat proses pemanasan ini, sebagian massa air mengalami penguapan ke udara. Proses penguapan terjadi melalui proses evaporasi, transpirasi, dan atau evapotranspirasi. Pada saat massa air menguap ke atmosfer, uap air

tersebut senantiasa mengalami penurunan temperatur yaitu sekitar 0,5 °C-0,6 °C setiap ketinggian tempat mengalami kenaikan sekitar 100 meter. Akibat penurunan temperatur, sampai pada ketinggian tertentu dimana kelembaban relatifnya mencapai 100%, maka akan terjadi proses kondensasi atau pengembunan dimana uap air kembali berubah menjadi titik-titik air atmosfer yang dikenal dengan awan.

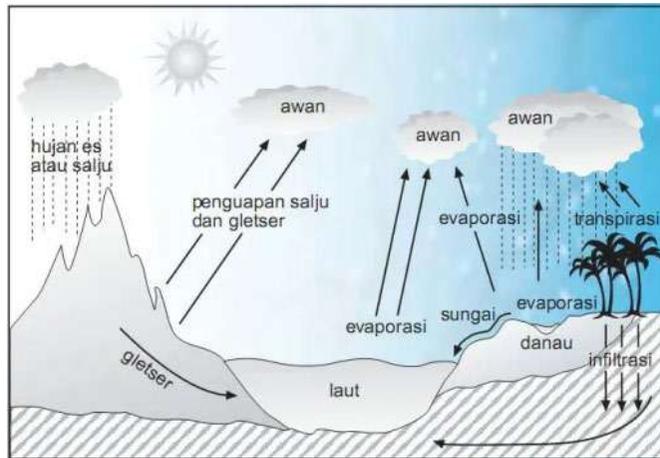
Kumpulan awan di atmosfer ada kalanya berpindah lokasi ke wilayah lain akibat gerakan angin. Akan tetapi, ada kalanya langsung dijatuhkan kembali sebagai curah hujan atau presipitasi. Di daerah pegunungan, curahan hujan ini dapat terjadi dalam bentuk kristal es dan salju karena temperatur udara di sekitarnya sangat dingin di bawah titik beku. Beberapa proses alam yang dapat terjadi saat kejadian hujan antara lain:

- a) Langsung jatuh kembali ke laut.
- b) Sebelum sampai ke permukaan bumi, langsung menguap kembali ke atmosfer.
- c) Jatuh di atas daun-daun dan ranting tetumbuhan dan menguap kembali ke atmosfer sebelum sampai ke permukaan bumi.
- d) Jatuh ke permukaan bumi dan meresap melalui lapisan-lapisan tanah dan menjadi persediaan air tanah.
- e) Jatuh ke permukaan bumi dan menggenang, kemudian bergerak atau mengalir di permukaan bumi sebagai air larian permukaan. Proses ini dapat terjadi jika tanah sudah jenuh air karena hujan berlangsung lama dengan intensitas tinggi.

Siklus air dapat dibedakan menjadi 3 jenis, antara lain:

- a) Siklus panjang, yaitu air laut menguap, kemudian terjadi kondensasi, uap air terbawa angin dan membentuk awan di atas daratan hingga

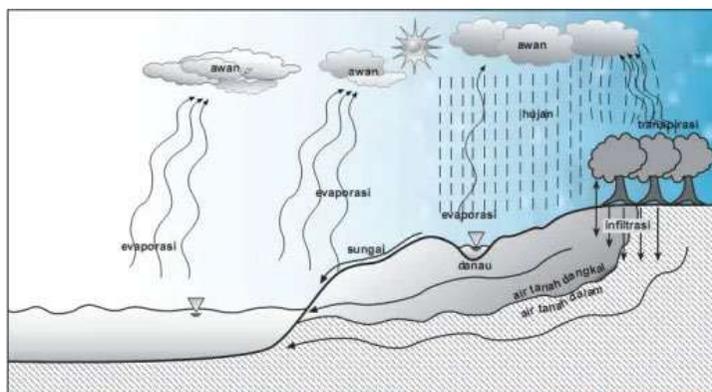
ke pegunungan tinggi, jatuh sebagai salju, terbentuk gletser, mengalir ke sungai selanjutnya kembali ke laut lagi.



Gambar 4. Siklus panjang

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

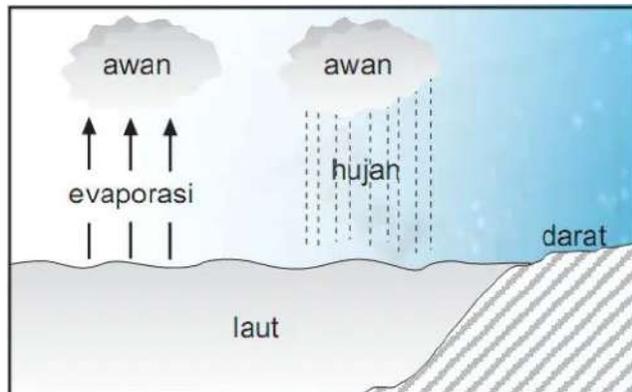
- b) Siklus menengah, yaitu air laut menguap, terjadi kodensasi, uap air terbawa angin dan membentuk awan di atas daratan, hujan jatuh di daratan menjadi air darat, dan kemudian menuju laut.



Gambar 5. Siklus menengah

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

- c) Siklus pendek, yaitu air laut menguap, terjadi kondensasi, uap air membentuk awan dan menghasilkan hujan, kemudian kembali ke laut lagi.



Gambar 6. Siklus pendek

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

Setiap tahun perputaran air di Bumi melibatkan 577.000 km<sup>3</sup> air. Ini terbagi atas air yang menguap dari permukaan laut (502.800 km<sup>3</sup>) dan dari darat (74.200 km<sup>3</sup>). Jumlah air yang sama jatuh sebagai presipitasi atmosfer, 458.000 km<sup>3</sup> di lautan dan 119.000 km<sup>3</sup> di darat. Selisih antara presipitasi dan evaporasi dari permukaan tanah (119.000 - 74.200 = 44.800 km<sup>3</sup>/tahun) merupakan total limpasan sungai di bumi (42.700 km<sup>3</sup>/tahun) dan limpasan air tanah langsung ke laut (2100 km<sup>3</sup>/tahun). Inilah yang merupakan sumber utama air tawar dalam mendukung kebutuhan hidup manusia.

Proses utama yang terjadi dalam siklus hidrologi setidaknya meliputi tujuh proses, yang akan dijelaskan sebagai berikut.

#### a) Evaporasi

Evaporasi merupakan proses penguapan dimana terjadi perubahan fase dari cair menjadi uap. Air di permukaan bumi, baik

di daratan maupun di laut yang menerima panas dari sinar matahari kemudian berubah menjadi uap air yang tidak terlihat di atmosfer. Penguapan merupakan sarana penting untuk mentransfer energi yang terjadi antara permukaan dan udara yang ada di atasnya. Energi yang digunakan untuk menguapkan air disebut “energi laten”. 88% dari semua air yang memasuki atmosfer berasal dari laut yang terletak di antara 60° LU dan 60° LS.

Menurut Ward (1967), faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi antara lain adalah faktor meteorologi, faktor geografis, dan faktor-faktor lainnya, yang dapat dilihat lebih lengkap pada Tabel 3.

**Tabel 3. Faktor yang mempengaruhi evaporasi**

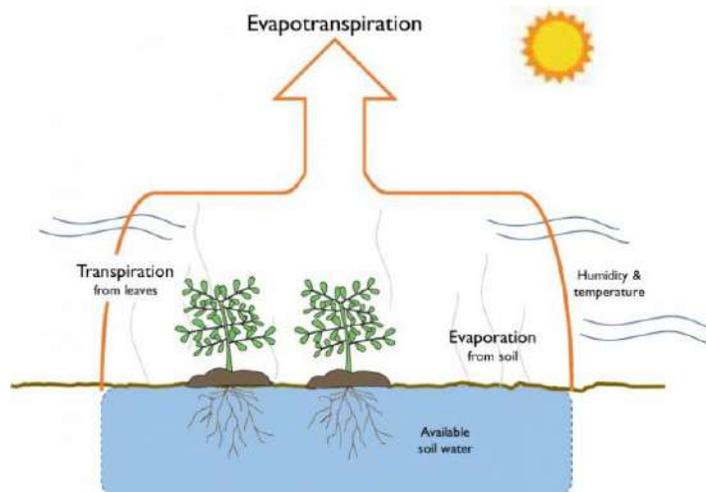
|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <p><b>Faktor meteorologi</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiasi matahari</li> <li>• Temperatur udara dan permukaan</li> <li>• Kelembaban</li> <li>• Angin</li> <li>• Tekanan barometer</li> </ul>  |
| <p><b>Faktor geografis</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kualitas air (warna, salinitas dan lain-lainnya)</li> <li>• Ukuran permukaan air</li> <li>• Bentuk permukaan air.</li> </ul>   |
| <p><b>Faktor-faktor lain</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandungan lengas tanah</li> <li>• Karakteristik kapiler tanah</li> <li>• Jeluk muka air tanah</li> <li>• Warna tanah</li> <li>• Aspek tutupan lahan dan vegetasi</li> <li>• Ketersediaan air (hujan, irigasi, dan lain-lainnya)</li> </ul> |

(Sumber: Hakim, I., 2020)

Sekitar 80% dari semua penguapan yang terjadi berasal dari lautan, dengan 20% sisanya berasal dari air pedalaman dan tumbuhan-tumbuhan. Uap air yang dikeluarkan dari dedaunan melalui sebuah proses yang dinamakan transpirasi. Setiap hari tanaman yang tumbuh secara aktif melepaskan uap air 5-10 kali sebanyak air yang dapat ditahan. Sebanyak 15.000 mil kubik uap air berasal dan daratan, danau, sungai, dan lahan yang basah, dan yang paling penting juga berasal dan transpirasi oleh daun tanaman yang hidup. Proses itulah yang kemudian disebut evapotranspirasi.

### b) Evapotranspirasi

Evapotranspirasi pada dasarnya merupakan kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan menuju ke atmosfer melalui proses evaporasi dan transpirasi.

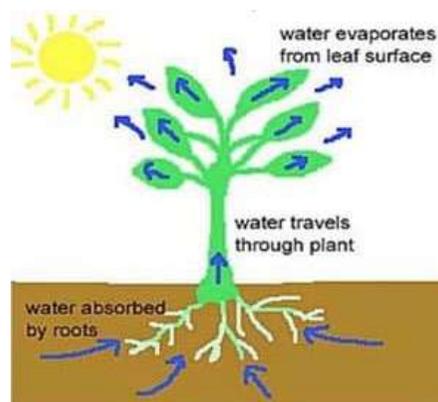


Gambar 7. Proses evapotranspirasi

(Sumber: <https://smart-farming.tp.ugm.ac.id/>)

Evaporasi adalah proses pengembalian uap air ke atmosfer. Air yang terdapat di permukaan, terutama lumpur, kolam, sungai,

danau, dan lautan, dipanaskan oleh radiasi matahari hingga mencapai titik di mana air berubah menjadi uap dan uap tersebut naik ke atmosfer. Sedangkan transpirasi adalah penguapan air yang berasal dari tanaman, sebagai akibat dari proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan juga uap air. Transpirasi menyumbang sekitar 10% dari semua air yang menguap.



Gambar 8. Proses transpirasi pada tumbuhan

(Sumber: <https://pendidikan.co.id/daur-air/>)

Transpirasi terjadi karena pergerakan air dari dalam tanah menuju pembuluh jaringan yang ada di tanaman. Air yang sudah masuk ke dalam jaringan vaskular atau jaringan lain di dalam sistem perpindahan air di tanaman, maka air tersebut akan keluar dari tanaman melalui jaringan stomata. Pengeluaran air melalui stomata ini karena proses fotosintesis yang diwadahi oleh cairan klorofil pada daun. Air kemudian menguap ketika terkena panas matahari dan naik menuju atmosfer.

### c) **Kondensasi**

Kondensasi adalah proses perubahan air dari gas menjadi cair, atau biasanya dikenal dengan istilah pengembunan. Saat titik embun

tercapai, uap air terlihat membentuk tetesan-tetesan air. Kumpulan tetesan air ini yang kemudian jadi bahan dalam pembentukan kabut dan awan. Kondensasi umumnya terjadi di atmosfer ketika terjadi kenaikan pada temperatur udara, kemudian mengalami pendinginan dan kehilangan kapasitasnya untuk menahan uap air. Akibatnya, kelebihan uap air mengembun dan membentuk tetesan awan.

#### **d) Presipitasi**

Presipitasi merupakan proses dimana kelembaban yang ada di atmosfer jatuh ke bumi dalam bentuk hujan air, hujan salju, maupun hujan es. Proses diawali ketika tetesan-tetesan air di awan bergabung mencapai ukuran yang semakin besar dan bertambah berat, sehingga kemudian tetesan air tersebut jatuh ke permukaan bumi sebagai presipitasi. Presipitasi pada pembentukan hujan air, hujan salju, maupun hujan es berasal dari kumpulan awan. Awan-awan tersebut bergerak mengelilingi dunia, yang diatur oleh aliran udara. Sebagai contoh, ketika awan-awan tersebut bergerak menuju wilayah pegunungan yang beriklim dingin, awan-awan tersebut akan ikut menjadi dingin dan segera menjadi air jenuh, yang kemudian air tersebut jatuh sebagai hujan air, hujan salju, dan hujan es, tergantung pada temperatur udara sekitarnya.

Curah hujan bervariasi dalam jumlah, intensitas, dan bentuk menurut musim dan lokasi geografisnya. Faktor-faktor ini yang mempengaruhi apakah air akan mengalir ke sungai atau meresap ke dalam tanah. Di sebagian besar wilayah di dunia, presipitasi perlu diukur untuk mendapatkan data curah hujan dan hujan salju. Hal ini memungkinkan para ilmuwan untuk menentukan curah hujan rata-rata untuk suatu lokasi serta mengklasifikasikan badai dan hujan

berdasarkan durasi, intensitas dan rata-rata periode ulang. Informasi ini sangat penting untuk pengelolaan pertanian serta desain rekayasa struktur pengendalian air dan pengendalian banjir.

Banyak presipitasi (misal hujan) dinyatakan dalam mm, sedangkan intensitas curah hujan kebanyakan dinyatakan dengan banyak presipitasi dalam satuan waktu tertentu. Bila yang jatuh adalah salju dan hujan es, presipitasi diukur setelah mencair. Derajat curah hujan adalah unsur kualitatif dari intensitas curah hujan. Tabel 4 memperlihatkan derajat curah hujan dan intensitas curah hujan.

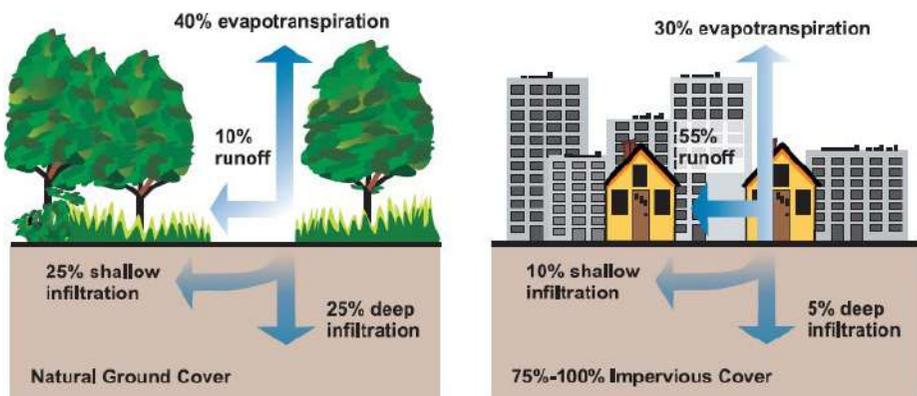
**Tabel 4. Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan**

| <b>Derajat hujan</b> | <b>Intensitas curah hujan (mm/min)</b> | <b>Kondisi</b>  |
|----------------------|--|---|
| Hujan sangat lemah   | < 0.02                                 | Tanah perkiraan basah atau dibasahi sedikit                                   |
| Hujan lemah          | 0.02 - 0.05                            | Tanah menjadi basah semuanya, namun umumnya tidak menimbulkan genangan air    |
| Hujan normal         | 0.05 - 0.25                            | Air mampu tergenang, bunyi curah hujan terdengar                              |
| Hujan deras          | 0.25 - 1                               | Air tergenang di seluruh permukaan tanah, bunyi hujan terdengar dari genangan |
| Hujan sangat deras   | > 1                                    | Hujan seperti ditumpahkan, arus drainase meluap                               |

(Sumber: Sosrodarsono S, Takeda K., 1976)

### e) Infiltrasi dan perkolasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam permukaan tanah. Infiltrasi merupakan satu-satunya sumber air yang berguna untuk menopang pertumbuhan vegetasi, mempertahankan kelembaban tanah, dan membantu untuk mempertahankan pasokan air tanah ke sumur, mata air dan sungai. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, pelindung tanah (seperti tanaman), kadar air tanah, temperatur tanah dan intensitas curah hujan. Infiltrasi dan perkolasi merujuk pada proses yang hampir sama, yaitu proses masuknya air ke dalam tanah. Meskipun demikian, keduanya memiliki sifat yang berbeda dan bidang pemanfaatan yang berbeda. Di tanah, infiltrasi terjadi di zona perakaran dan permukaan tanah sedangkan perkolasi terjadi di antara zona transisi dan zona jenuh.



Gambar 9. Infiltrasi

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

Saat air turun dari langit dalam bentuk presipitasi, air dicegat oleh tanaman atau jatuh langsung ke permukaan tanah. Curah hujan yang terkumpul pada daun atau batang tumbuhan disebut intersepsi.

Jumlah air yang dicegah oleh tanaman sangat tergantung pada bentuk tanaman. Air ditahan di permukaan daun sampai menetes saat jatuh atau menetes ke bawah batang daun, yang akhirnya mencapai tanah sebagai aliran batang. Intersepsi yang dilakukan tanaman ini membantu menyangga permukaan tanah terhadap erosi. Pohon jenis konifer (seperti seperti spruce, birch, alder, juniper, pinus dan cemara) mempunyai kemampuan untuk melakukan intersepsi ini.



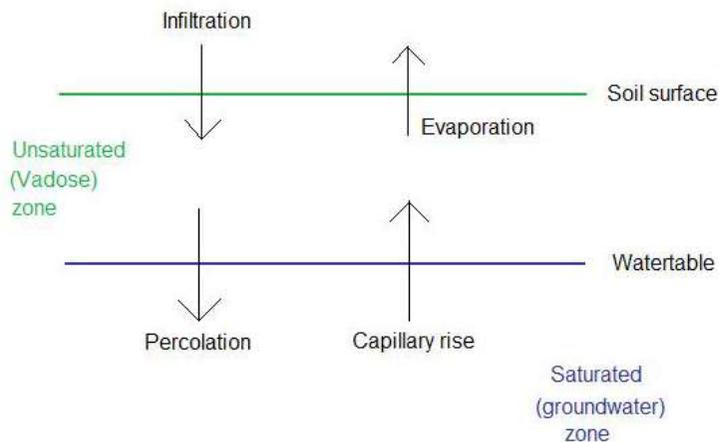
Gambar 10. Hutan konifer

(Sumber: <https://rimbakita.com/hutan-konifer/>)

Setelah mencapai permukaan tanah, air hujan sebagian akan langsung menyusup/masuk ke dalam tanah, dan sebagiannya lagi akan mengalir di sepanjang permukaan tanah. Infiltrasi mengacu pada air yang menembus ke dalam permukaan tanah. Infiltrasi dikendalikan oleh tekstur tanah, struktur tanah, vegetasi dan status kelembaban tanah. Laju infiltrasi yang tinggi terjadi di tanah yang kering, sedangkan infiltrasi melambat saat tanah menjadi basah. Tanah bertekstur kasar dengan ruang pori yang besar cenderung memiliki laju infiltrasi yang lebih tinggi daripada tanah bertekstur halus. Namun, tanah bertekstur kasar mengisi lebih cepat daripada

tanah bertekstur halus karena jumlah ruang pori total yang lebih kecil dalam satuan volume tanah. Oleh karena itu, tanah bertekstur kasar menghasilkan limpasan yang lebih cepat dibandingkan dengan tanah bertekstur lebih halus. Selain kondisi tanah, vegetasi juga berpengaruh terhadap infiltrasi. Infiltrasi yang lebih tinggi terjadi pada tanah yang berada di kawasan vegetasi hutan daripada tanah gundul. Akar pohon mampu melonggar dan menyediakan saluran agar air bisa masuk ke dalam tanah. Dedaunan dan serasah permukaan juga mengurangi dampak dari presipitasi yang bisa membuat saluran air ke tanah menjadi tertutup.

Perkolasi adalah proses pergerakan air ke bawah melalui pori-pori tanah dan batuan. Perkolasi terjadi di bawah zona akar. Air tanah merembes melalui tanah seperti air yang mengisi spons, dan bergerak mengalir ke bawah melalui partikel tanah, batuan berpori, pasir, kerikil, atau retak dari zona tak jenuh ke zona jenuh di dalam tanah.



Gambar 11. Perkolasi

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

Proses infiltrasi dan perkolasi memberi dampak yang positif terhadap tanah. Infiltrasi mengisi kembali kekurangan kelembaban tanah sedangkan perkolasi mengisi kembali akuifer bawah tanah. Parameter yang diidentikkan dengan kelembaban tanah ini adalah *Soil Moisture Storage*. *Soil Moisture Storage* mengacu pada jumlah air yang ditahan di dalam tanah pada waktu tertentu. Jumlah air dalam tanah tergantung pada sifat-sifat tanah seperti tekstur tanah dan kandungan bahan organik. Jumlah air maksimum yang dapat ditampung oleh tanah disebut *field capacity*. Tanah bertekstur halus memiliki *field capacity* yang lebih besar dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar. Jadi, air yang tersedia untuk evapotranspirasi aktual pada tanah halus lebih banyak daripada tanah kasar (berpasir).

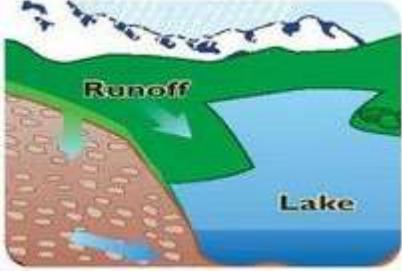
**f) *Surface Runoff***

*Surface run off* (limpasan permukaan), yaitu proses dimana air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan. Air permukaan, baik yang mengalir maupun yang tergenang (danau, waduk, rawa), dan sebagian air bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir membentuk sungai dan berakhir ke laut. Karakteristik yang mempengaruhi laju limpasan antara lain durasi dan intensitas curah hujan, kemiringan tanah, jenis tanah dan pelindung tanah (vegetasi). Curah hujan dapat jatuh langsung ke permukaan tanah atau diintersepsi oleh tanaman, yang pada akhirnya mencapai tanah. Begitu sampai di tanah, air dapat menyusup ke dalam tanah atau bergerak melintasi permukaan sebagai limpasan.

Limpasan permukaan umumnya terjadi ketika intensitas curah hujan melebihi laju infiltrasi, atau jika tanah sudah berada pada kapasitas daya tahan airnya (*field capacity*). Infiltrasi dan kapasitas daya tahan air merupakan fungsi dari tekstur dan struktur tanah. Tanah yang terdiri dari persentase pasir yang tinggi memungkinkan air untuk menyusup lebih cepat karena mereka memiliki ruang pori yang besar dan terhubung dengan baik. Sedangkan tanah lempung memiliki laju infiltrasi yang rendah karena ruang pori yang lebih kecil. Namun, sebenarnya ada jumlah total ruang pori yang lebih kecil dalam satu unit volume tanah berpasir kasar daripada tanah yang sebagian besar terdiri dari lempung. Akibatnya, tanah berpasir mengisi dengan cepat dan umumnya menghasilkan limpasan lebih cepat daripada tanah liat.

Limpasan adalah pergerakan air tanah ke lautan, terutama dalam bentuk sungai, danau, dan sungai. Ditinjau dari sumbernya, limpasan diklasifikasikan menjadi 3 jenis, seperti yang terlihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Klasifikasi *surface run off***

| No | Klasifikasi <i>surface run off</i>  |
|----|---|
| 1  |  <p data-bbox="340 1574 1118 1661"><b>Aliran permukaan (<i>surface flow</i>)</b> adalah bagian dari air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan</p> |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>tanah. Aliran permukaan disebut juga aliran langsung (<i>direct runoff</i>). Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir</p>  |
| 2 | <div data-bbox="529 436 930 703" data-label="Image"> <p>The diagram shows a cross-section of the ground with a green surface on the left and a blue lake on the right. A green arrow on the surface points towards the lake. Below the surface, a blue arrow labeled 'Percolation' points downwards into the soil. Another blue arrow labeled 'Lake' points horizontally through the soil layer towards the lake, representing lateral flow.</p> </div> <p><b>Aliran antara (<i>inter flow</i>)</b> adalah aliran dalam arah lateral yang terjadi di bawah permukaan tanah. Aliran antara terdiri dari gerakan air dan lensa tanah secara lateral menuju elevasi yang lebih rendah</p> |
| 3 | <div data-bbox="522 929 934 1203" data-label="Image"> <p>The diagram shows a cross-section of the ground with a green surface on the left and a blue lake on the right. A green arrow on the surface points towards the lake. Below the surface, a blue arrow labeled 'Groundwater' points downwards into the soil. Another blue arrow labeled 'Bedrock' points horizontally through the soil layer towards the lake, representing lateral flow.</p> </div> <p><b>Aliran air tanah</b> adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju ke sungai atau langsung ke laut.</p>  |

(Sumber: Norhayati, *et al.*, 2019)

### g) Transportasi

Transportasi adalah pergerakan air melalui atmosfer, khususnya dari lautan ke daratan. Beberapa transportasi dari kelembaban bumi terlihat sebagai awan, yang terdiri dari kristal es dan/atau tetesan air (*droplet*). Awan berpindah dari satu tempat ke

tempat lain biasanya dipengaruhi oleh pergerakan fluida, seperti angin darat dan laut, atau mekanisme lainnya. Awan dengan ketebalan 1 kilometer hanya mengandung air untuk 1 milimeter curah hujan, sedangkan jumlah kelembaban di atmosfer biasanya 10-50 kali lebih besar. Sebagian besar air diangkut dalam bentuk uap air, yang sebenarnya merupakan gas paling melimpah ketiga di atmosfer. Uap air mungkin tidak terlihat oleh kita, tetapi tidak oleh satelit, yang mampu mengumpulkan data tentang kadar air atmosfer. Dari data tersebut, visualisasi gambar uap air bisa dihasilkan, sehingga memberikan gambaran visual transportasi uap air di atmosfer. Hal ini lah yang kemudian bermanfaat untuk memberikan informasi kondisi cuaca yang terjadi di suatu daerah.

## **BAB II**

### **PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : ERA PRA KEMERDEKAAN**

#### **A. Sejarah Umum Air dan Sanitasi**

Selain udara, air memiliki peranan penting dalam menunjang kelangsungan hidup manusia. Air dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti sungai, danau, laut, air tanah, air hujan, dan lain-lain.



Gambar 12. Ilustrasi kehidupan di sekitar Sungai Tigris dan Eufrat

(Sumber: <https://lampukecil.com/>)

Keberadaan air pada kehidupan awal peradaban manusia hanya dapat ditemukan di sepanjang tepi sungai utama. Pemanfaatan air oleh manusia telah muncul sekitar tahun 3500 SM oleh Bangsa Sumeria, dimana selain mereka juga terdapat berbagai permukiman di lembah Mesopotamia (dataran di antara sungai Tigris dan Efrat) di Timur Tengah, di tepi Sungai Nil, Mesir dan di lembah Sungai Indus. Lembah Sungai Tigris dan Eufrat adalah wilayah geografis di sekitar dan di

antara sungai-sungai, karena air tersebut mengalir dari Turki (zaman modern) menuju Teluk Persia, termasuk beberapa bagian Irak, Iran, Suriah, Yordania dan Kuwait. Daerah ini terkenal dengan sebutan “Bulan Sabit yang Subur” karena bentuknya yang menyerupai bulan sabit. Dan daerah ini juga sering disebut Mesopotamia, yang dalam bahasa Yunani berarti “daratan di antara dua sungai”.

Seiring semakin bertumbuhnya peradaban dan kebutuhan manusia, permukiman tidak dapat dipisahkan dari penggunaan air, termasuk permukiman penduduk yang ada di Indonesia. Keperluan permukiman terhadap air tersebut berkembang ke arah prasarana dan sarana dasar serta utilitas umum lainnya seperti sarana sanitasi. Prasarana dan sarana sanitasi lingkungan tersebut meliputi air limbah, persampahan, dan drainase, yang dikenal sebagai prasarana penyehatan lingkungan permukiman (PLP). Ketersediaan dan kondisi prasarana dan sarana dasar ini sangat menentukan kualitas lingkungan permukiman tersebut dan derajat kesehatan penghuninya. (Sejarah Air Minum Indonesia 1800 – 2005, Kementerian PUPR)

Penurunan derajat kesehatan masyarakat bisa diakibatkan oleh ketidaklayakan dalam pelayanan air minum dan pengelolaan sanitasi lingkungan. Menurut data dari Kementerian Kesehatan, terdapat 37 jenis penyakit tradisional yang berhubungan dengan air minum dan sanitasi lingkungan yang kurang layak, yang terbagi atas:

- a) *Waterborne disease* adalah penyakit yang ditularkan langsung melalui air seperti diare, tyfus, disentri, hepatitis A dan E. Penyakit ini merupakan penyebab kematian kedua terbanyak pada balita di Indonesia setelah ISPA.

- b) *Water washed disease* adalah penyakit yang mempunyai kaitan dengan krisis air untuk keperluan sehari-hari seperti scabies, infeksi kulit dan selaput lendir (dermatitis), trachoma, lepra, frambusia dan lain-lain.
- c) *Water based disease* adalah penyakit yang bibitnya dan sebagian dari siklus kehidupannya berhubungan dengan air, antara lain schistosomiasis.
- d) *Water related vectors* adalah penyakit yang ditularkan oleh vector penyakit yang sebagian atau seluruhnya berada di air seperti malaria, Demam Berdarah Dengue (DBD), filariasis dan sebagainya.
- e) *Vector related disease* adalah penyakit yang ditularkan oleh vektor yang sebagian atau seluruh kehidupannya berkaitan dengan sampah seperti diare dan lain lain.

Dan pada masa sekarang, mulai bermunculan penyakit yang diakibatkan oleh “modernhazard” seperti akibat air yang tercemar oleh limbah industri dan limbah pertanian yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida dan herbisida secara tidak terkendali. Terjadinya kerugian ekonomi yang sangat besar, seperti meningkatnya biaya perawatan kesehatan, hilangnya produktivitas SDM yang berimbas terhadap kehilangan produksi dalam negeri, serta penurunan *income* dari sektor pariwisata juga bisa terjadi diakibatkan pengelolaan air minum skala nasional yang masih belum optimal.

Pembahasan terkait problematika air yang menjadi masalah di belahan dunia lain dimulai dari pertemuan yang diadakan di Mar del Plata, Argentina, pada bulan Maret 1977. Pertemuan tersebut bertajuk “The United Nations Water Conference”, yang diprakarsai oleh PBB.

Pertemuan antar pemerintah pertama di seluruh dunia ini membahas tentang pentingnya memberikan kesadaran kepada seluruh dunia akan pentingnya air dalam pembangunan yang berkelanjutan. Pertemuan ini melibatkan delegasi dari 105 negara, serta dari puluhan organisasi antar pemerintah dan non-pemerintah. Rencana Aksi Mar del Plata memproklamkan tahun 1980-1990 sebagai dekade air minum dan sanitasi internasional, sebagai upaya bersama untuk meningkatkan pelayanan air minum dan sanitasi. Dalam catatan PBB, hingga saat ini setiap tahun lebih kurang empat juta penduduk dunia meninggal sebagai akibat pelayanan air minum dan sanitasi yang kurang layak.



Gambar 13. The United Nations Water Conference, 1977

(Sumber: <https://www.unmultimedia.org/s/photo/>)

Komitmen-komitmen internasional mengenai pengelolaan sumber daya air terus bergulir. Prinsip Dublin, sebagai hasil dari Konferensi di Dublin pada Januari 1992, ditujukan untuk manajemen air secara bijaksana dengan fokus perhatian pada kemiskinan. Puncak

peristiwa adalah kesepakatan Rio De Janeiro (Juni 1992), yang dikenal dengan Earth Summit dengan Agenda 21-nya, untuk pembangunan yang berkelanjutan, dimana salah satu dari Agenda 21 mencantumkan penyediaan air dan sanitasi.

Kesepakatan Millennium Development Goals (MDGs) atau Tujuan Pembangunan Milenium dengan sasaran tahun 2015, dan akses universal atas air minum dan sanitasi pada tahun 2025 adalah bentuk-bentuk perhatian PBB yang tanpa henti mendorong negara-negara di dunia, terutama di negara-negara berkembang, untuk memprioritaskan pengembangan air minum dan sanitasi.

## **B. Perkembangan Air Minum di Indonesia Era Pra Kemerdekaan**

### **1. Sejarah Perkembangan**

Era 1800-an menandai munculnya sistem penyediaan air minum di masa pra kemerdekaan (Buku Direktori Perpamsi). Sir Stamford Raffles, penguasa Inggris selama penjajahannya di Pulau Jawa (1811-1815), yang juga dikenal sebagai ilmuwan, pada tahun 1817 mencatat bahwa kebiasaan merebus air sebelum minum sering dilakukan oleh penduduk di Pulau Jawa untuk menjaga kesehatan. Kebiasaan ini kemudian ditiru oleh bangsa Belanda yang tinggal di Batavia. Di Batavia, pada tahun 1880-an ada tuan tanah yang memiliki sumur yang airnya sangat jernih. Air sumur tersebut kemudian diperdagangkan dengan harga 1,5 gulden per drum (200 liter). Air sungai pun waktu itu diperdagangkan dengan harga 2-3 sen per kaleng (20 liter).

Pada tahun 1905, Pemerintah Kota Batavia terbentuk dan pada tahun 1918 didirikanlah PAM (Perusahaan Air Minum) Batavia. Air

baku yang digunakan pada PAM tersebut didatangkan dari mata air di Ciomas, Bogor. Karena kandungan besi (Fe) yang tinggi, akibatnya penduduk Batavia waktu itu kurang menyukai air sumur bor yang dibangun di PAM Batavia. Bahkan pada saat dipakai untuk menyeduh teh, airnya berubah warna menjadi hitam.



Gambar 14. Sungai Ciliwung, Jakarta

(Sumber: <https://iplbi.or.id/groot-rivier-ciliwung>)

Pada awalnya, air yang bersumber dari Kali Ciliwung merupakan sumber air minum bagi orang-orang yang tinggal di Jakarta, karena kondisi airnya yang memang sangat jernih. Air sungai tersebut ditampung di sebuah waduk yang dalam bahasa Belanda disebut *waterplaats*. Awalnya waduk dibangun di dekat benteng Jacatra di utara kota, kemudian dipindahkan ke kali di daerah Molenvliet (sekarang lebih dikenal dengan nama Harmoni), tak jauh dari Istana Negara yang sekarang. Waduk itu dilengkapi dengan pancuran-pancuran kayu yang mengucurkan air dari ketinggian tiga meter. Masyarakat kemudian menyebut tempat tersebut pancuran, yang oleh lidah Betawi ketika itu berubah menjadi pancoran. Dari sana air diangkut oleh para pedagang air

untuk diujakan di daerah Kota. Karena penyediaan air tersebut tanpa melalui pengolahan (*treatment*) apapun, maka pada akhir abad ke-18 dan dasawarsa pertama abad ke-19, mulailah muncul wabah penyakit menular, mulai dari disentri, tifus, bahkan kolera.

Belanda juga membangun berbagai sarana penyediaan air minum di kota-kota lain, walau dengan sarana yang masih sederhana. Sekitar tahun 1880-1890, untuk memenuhi keperluan air minum dan pengairan, Dinas Pengairan Belanda membangun saluran air sepanjang 12 km dari sebuah bendungan di Sungai Elo ke pusat kota Magelang, Jawa Tengah.



Gambar 15. Water Toren, Magelang

(Sumber: <https://www.mongabay.co.id/2016/>)

Pada tahun 1890 di Surabaya, atas jasa-jasanya merintis penyediaan air minum, dua orang Belanda bernama Mouner dan Bernie diberi konsesi mengelola mata air Umbulan di Pasuruan. Mereka memasang pipa sepanjang lebih dari 60 km dari wilayah Pasuruan hingga ke kota Surabaya, yang pengerjaannya dilakukan

dalam dua tahun. Dan pada tahun 1900 berdirilah perusahaan air minum Kota Surabaya. Dan pada tahun 1906, perusahaan air minum itu dijadikan sebagai Dinas Air Minum Kota Surabaya, yang kemudian menjadi PDAM Kota Surabaya sampai sekarang. Pembangunan sarana air minum pada masa itu memang diprioritaskan untuk kebutuhan bangsa Belanda dan lapisan masyarakat atas yang berkuasa waktu itu. Sedangkan masyarakat yang berkedudukan sosial rendah dan ekonomi lemah jauh dari perhatian. Mereka hanya memanfaatkan air sumur dangkal, air sungai dan semacamnya, yang tentu saja tidak terjamin kesehatannya.

Sistem tata kelola penyediaan air minum di berbagai kota diatur oleh pemerintah Hindia Belanda dengan membentuk badan hukum berupa *bedrijven* (perusahaan) atau *diensten* (kedinasan). Contoh-contoh badan hukum berbentuk perusahaan antara lain adalah:

1. *Gemeentelijk Waterleiding Bedrijf* (Perusahaan Air Minum Kotapraja) yang terdapat di kota-kota Batavia, Surabaya, Madiun, Salatiga, Bandung, Bogor, Sukabumi, Semarang, dan sebagainya.
2. *Provinciaal Waterleiding Bedrijf* (Perusahaan Air Minum Provinsi) yang antara lain terdapat di kota Mojokerto dan sekitarnya.



Gambar 16. Waterleiding Batavia

(Sumber: De Waterleiding van Batavia, 1922)

Pada masa itu, perusahaan air minum kotapraja (*waterleiding bedrijf*) mengindik ke Departemen Kesehatan Masyarakat (*Department van Volksgezondheid*), karena kesehatan masyarakat berkaitan erat dengan air minum yang dikonsumsi. Karena milik pemerintah kotapraja, perusahaan air minum itu dibiayai oleh pemerintah.

Selain yang dikelola oleh pemerintah, pelayanan air bersih juga dikelola oleh swasta seperti di Tanjungpinang, yang kemudian menjadi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Perusahaan-perusahaan asing seperti Caltex di Dumai dan BPM di Balikpapan juga menyediakan air bersih walau terbatas untuk kebutuhan karyawan-karyawan mereka yang tinggal di sekitar perusahaan tersebut. Di pelosok Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan juga terdapat pelayanan air minum melalui suatu hidran umum yang disediakan oleh perusahaan tambang minyak asing, yang kemudian diambil alih oleh Pertamina setelah Indonesia merdeka. Penyediaan

air minum sistem perpipaan, dengan melibatkan perusahaan swasta, antara lain juga dikembangkan Belanda di Sumatera Utara, yaitu di Medan dan Binjai. Di Medan, *Waterleiding Maatschappij Ajer Beresih* adalah perusahaan air minum yang merupakan suatu konsorsium yang dipimpin oleh *Deli Maatschappij*. Perusahaan air minum tersebut didirikan untuk memenuhi kebutuhan kota Medan yang berkembang sangat pesat sejak Sultan Deli memindahkan pusat pemerintahannya dari Bengkalis ke Medan.

## **2. Teknologi Pengolahan Air**

Teknologi pengolahan air minum yang masih konvensional terjadi pada era pra kemerdekaan. Proses pengolahan air bersih yang meliputi koagulasi/flokulasi, pengendapan, dan penyaringan dilakukan secara sederhana. Kebanyakan perusahaan air minum pada masa ini mendapatkan sumber air dari mata air yang terdapat di dataran tinggi. Dengan menggunakan prinsip gravitasi, air baku yang berasal dari dataran tinggi biasanya dialirkan ke kota dengan sistem pemipaan. Kota-kota yang minim sumber mata air seperti Banjarmasin, Pontianak, Makassar, Palembang dan yang lainnya biasanya memanfaatkan air permukaan atau sumur bor (*deep well*). Untuk penggunaan masyarakat umum disediakan juga fasilitas MCK yang pengelolaannya diserahkan kepada masyarakat setempat, tetapi dalam pengawasan kotapraja.



Gambar 17. Sistem jaringan pipa yang dibangun  
(Sumber: De Waterleiding van Batavia, 1922)



Gambar 18. Kegiatan MCK di Batavia

(Sumber: <https://sepanjangjk.files.wordpress.com/2011/>)

Sealin berfokus pada pembangunan jaringan air bersih di Batavia, Belanda juga menginisiasi pelayanan air minum di berbagai kota penting lainnya. Seperti yang dilakukan di Cirebon, pada tahun 1937 Belanda membangun terowongan penampung air pada salah satu kawasan sumber mata air Paniis yang terletak di lereng Gunung

Ciremai. Terowongan yang memiliki panjang 77 meter itu terhubung dengan instalasi pengolahan yang terletak sekitar 270 meter dari sumber air. Pada unit pengolahan dibangun pula unit aerasi dengan sistem pancaran yang bertujuan untuk menghilangkan mineral besi yang terkandung di dalam air. Selain itu, Belanda juga menggunakan pipa besi tuang diameter 150 – 300 mm untuk mengalirkan air dari sumbernya di Paniis ke wilayah kota Cirebon, dan debit air yang mengalir ke Cirebon dengan sistem gravitasi tersebut mencapai 30 liter per detik.

Dengan maksud sebagai tangki persediaan dan untuk menstabilkan tekanan air di jaringan pipa, Belanda juga membangun menara-menara air. Seperti menara air yang dibangun di Medan (sekarang bernama menara air Tirtanadi) dan terbuat dari besi dengan kapasitas 1.200 meter kubik. Selain di Medan, Belanda juga membangun menara air di Magelang (dengan kapasitas 1.750 meter kubik) dan Cirebon (dengan kapasitas 875 meter kubik). Sebagian dari menara-menara air itu ternyata kini telah menjadi *landmark* kota.



Gambar 19. Menara air Tirtanadi, Medan

(Sumber: <https://sumut.idntimes.com/science/>)

### **BAB III**

## **PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : AWAL KEMERDEKAAN**

### **A. Sejarah Perkembangan**

Setelah melalui perjalanan yang panjang hingga meraih kemerdekaan, pemerintah Republik Indonesia mulai melancarkan pembangunan di berbagai sektor, termasuk pembangunan sektor air minum yang terbengkalai karena Perang Dunia II (1939-1945) dan perang kemerdekaan Indonesia dalam kurun waktu 1945–1950. Pengembangan sektor air minum Indonesia di awal-awal kemerdekaan diprioritaskan kepada pembangunan sarana prasarana air minum pada kota-kota besar, kota dengan pelabuhan, kota industri, wisata dan objek-objek vital lainnya.



Gambar 20. IPA Pejompongan I

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia, 2015)

Pembangunan Instalasi Pengolahan Air (IPA) Pejompongan I dengan kapasitas air 2.000 liter per detik, menjadi penanda keseriusan pemerintah dalam melakukan pembangunan di sektor air minum. Pembangunan proyek ini juga menjadi tonggak sejarah pengembangan sistem penyedia air minum pertama di Indonesia. Pembangunan IPA Pejompongan I dimulai secara resmi tanggal 23 Desember 1953 dan mengalirkan produksinya pada 1957. Pembangunan IPA Pejompongan I didorong oleh kebutuhan mendesak terhadap air bagi warga Jakarta yang saat itu pertumbuhan populasinya sangat pesat.



Gambar 21. Menara air kapasitas 750 m<sup>3</sup> di Manado

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia, 2015)

Pemerintah juga menyusun Rencana Pembangunan Nasional Semesta Berencana (RPNSB) Tahap I periode 1961–1969, yang mencakup rencana pengembangan sistem penyediaan air minum. Pembangunan berencana pemerintah ini meliputi pelaksanaan pembangunan instalasi pengolahan air minum di beberapa kota besar

seperti Jakarta (Pejompongan II), Manado dan Pontianak. Selain itu, di beberapa ibu kota provinsi juga dibangun IPA melalui kerja sama dengan sebuah perusahaan asal Prancis, yakni Degremont.

Dalam pembangunan proyek besar seperti IPA Pejompongan I itu, pemerintah harus mengupayakan pinjaman luar negeri. Dalam hal ini, Degremont yang merupakan perusahaan yang khusus bergerak dalam bidang air minum, menjadi penghubung untuk meyakinkan Pemerintah Perancis untuk memberikan pinjaman kepada Pemerintah Indonesia. Dengan demikian terjadilah kerjasama segitiga antara Pemerintah Indonesia, Pemerintah Perancis dan Degremont dalam serangkaian pembangunan IPA di sejumlah ibu kota provinsi di Indonesia. Hingga saat ini, peninggalan Degremont masih dapat dilihat di berbagai kota di Indonesia, seperti di Bandung, Semarang, Banjarmasin dan di kota-kota lainnya.



Gambar 22. IPA di Bandung hasil kerjasama dengan Degremont, 1962

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia, 2015)

Model kemitraan yang melibatkan antara pemerintah Indonesia dengan Perancis seperti penjelasan sebelumnya juga diterapkan pemerintah Indonesia dalam mendapatkan pinjaman dana untuk

membangun sejumlah IPA di beberapa ibu kota provinsi. Dana-dana bantuan luar negeri itu dapat berupa hibah (*grant*), tetapi sebagian besar bantuan yang didapatkan dalam bentuk pinjaman (*loan*). Sebagian besar dana *loan* itu didasarkan pada kesepakatan bilateral, dan biasanya langsung diarahkan untuk membiayai proyek tertentu.

## **B. Perkembangan di Bidang Kesehatan dan Sanitasi**

Hasil RPNSB Tahap I dalam bidang air minum yang dilancarkan pemerintah dalam periode 1961-1969 antara lain adalah bahwa hingga tahun 1968 kapasitas produksi air minum di seluruh Indonesia sudah mencapai 9.000 liter per detik. Dengan kapasitas sebesar itu, cakupan pelayanan di daerah perkotaan mencapai 19%. Terhitung 23 tahun sejak Indonesia merdeka, telah terjadi peningkatan kapasitas sekitar 200%, yakni sebesar 6.000 liter per detik jika dibandingkan dengan kapasitas produksi air minum pada akhir prakemerdekaan yang hanya menyentuh angka 3.000 liter per detik dengan cakupan pelayanan sebesar 8%.

Pengembangan yang terbilang pesat pada sektor pengolahan air di awal-awal kemerdekaan sayangnya sejalan dengan kemampuan dan pengetahuan orang Indonesia dalam bidang kesehatan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka pemerintah mengirim para pelajar di bidang teknik untuk memperdalam ilmu *sanitary engineering* ke luar negeri. Kegiatan ini bertujuan untuk menghasilkan tenaga ahli yang mempunyai kemampuan dalam mengembangkan dan mengelola sistem penyediaan air minum. Salah seorang diantara putra bangsa yang *concern* dalam bidang teknik penyehatan adalah KRT

Mertonegoro, yang kelak kemudian menjadi guru besar Teknik Penyehatan di Universitas Gajah Mada (UGM).

Fokus pemerintah dalam bidang kesehatan ditandai dengan terbentuknya Direktorat Teknik Penyehatan, yang merupakan transformasi dari Jawatan Teknik Penyehatan yang terbentuk pada tahun 1952. Pada waktu itu pejabat-pejabat inti di Jawatan Teknik Penyehatan sangat terbatas dengan struktur organisasi yang sederhana, dan berada di bawah Direktorat Jenderal Pengairan Departemen Pekerjaan Umum.

Sekitar 10 tahun setelah Jawatan Teknik Penyehatan berdiri, pada tahun 1960/1961 Prof. Ir. R. Soetedjo, seorang Guru Besar Teknik Sipil di ITB, memprakarsai pendirian program pendidikan Teknik Penyehatan bersama almarhum Prof. Ir. KRT Mertonegoro (UGM) dan Prof. Mochtar (UI), sebagai divisi dari Bagian Teknik Sipil ITB. Dengan meningkatnya kebutuhan akan insinyur, pada 10 Oktober 1962 divisi tersebut menjadi Bagian Teknik Penyehatan (TP) di bawah Fakultas Teknik Sipil. Bagian ini membuka program sarjana berbasis keinsinyuran dalam bidang yang sangat spesifik pada saat itu, yaitu penyediaan air minum dan pengelolaan air buangan.



Gambar 23. Program Studi Teknik Lingkungan ITB

(Sumber: <https://env.itb.ac.id/tentang/sejarah/>)

Dengan alasan seiring lingkup Teknik Penyehatan yang menjadi lebih luas, bukan saja untuk menangani kesehatan manusia secara preventif, tetapi juga memiliki sasaran untuk mencegah pencemaran lingkungan secara teknik, maka pada tanggal 5 Januari 1984 Teknik Penyehatan (TP) berubah nama menjadi Teknik Lingkungan (TL). Peran Jurusan Teknik Penyehatan ITB berlanjut pada saat lulusannya banyak yang mengabdikan dirinya pada Direktorat Teknik Penyehatan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum. Mereka inilah yang kemudian menjadi perintis, penggerak dan pelaksana berbagai program pembangunan di bidang air minum dan penyehatan lingkungan di Indonesia.

### **C. Model kelembagaan dan awal terbentuknya PDAM**

Selain memberikan peninggalan berupa sarana dan prasarana fisik pengolahan air minum, Belanda juga mewariskan sistem kelembagaan air minum seperti berupa kelembagaan air minum,

seperti perusahaan air minum kotapraja (*gemeente*) atau dinas (*diensten*) air minum. Departemen Kesehatan yang kala itu berfungsi sebagai lembaga yang mengawasi standar mutu air minum, juga berfungsi untuk menaungi perusahaan air minum kotapraja atau dinas air minum. Di saat pembangunan sistem penyediaan air minum semakin masif, baik dari sistem pengolahan maupun sistem pendistribusiannya, maka tanggung jawab terkait sektor air minum yang semula dipegang oleh Departemen Kesehatan dilimpahkan kepada Departemen Pekerjaan Umum.

Tata kelola terkait penyediaan air minum berbeda-beda di setiap daerah, seperti dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengelolaan yang dilakukan oleh PDAM dan Dinas.
2. Pengelolaan yang dilakukan oleh Perusahaan Air Minum (PAM) sebagai cabang dari Perseroan Terbatas milik Pemerintah Daerah Tingkat I.
3. Pengelolaan yang dilakukan oleh Dinas Air Minum yang termasuk dalam organisasi Pemerintah Daerah Tingkat II.
4. Pengelolaan yang dilakukan oleh Dinas Air Minum Provinsi yang bernaung di bawah Dinas Pengairan PU Provinsi.
5. Badan khusus yang dibentuk pemerintah Indonesia tahun 1955 untuk mengelola air minum yang diberi nama Perusahaan Air Minum Negara Singaraja, yang kemudian tanggal 8 Oktober 1979 berubah namanya menjadi Badan Pengelola Air Minum (BPAM) Kabupaten Dati II Buleleng.
6. Di Sabang, pengelolaan air minum juga dilakukan oleh TNI-AL.
7. Penyediaan air minum yang dikelola Pengelola Pelabuhan, dimana kelebihan produksinya dijual kepada masyarakat di sekitarnya.

8. Pertamina juga ikut ambil bagian dalam mengelola sarana penyediaan air minum. Selain untuk keperluan sendiri, kelebihan produksinya juga dijual ke masyarakat sekitar, seperti yang terjadi di pedalaman Muara Enim (Sumatera Selatan), Dumai (Riau), dan lain sebagainya.
9. Pengelolaan air minum oleh beberapa pengusaha tertentu, misalnya hotel, yang kemudian menjual kelebihan produksinya kepada masyarakat di sekitarnya.

Di masa-masa awal kemerdekaan itu, dari sekitar 400 kota di Indonesia baru sekitar 40% yang memiliki sarana penyediaan air minum. Sebagian besar (30%) dari sarana air minum itu badan hukumnya berbentuk Dinas Air Minum atau Urusan Air Minum, sebagian lainnya (28%) berbentuk Perusahaan Daerah Air Minum dan yang lainnya lagi (17%) berbentuk Badan Pengelola Air Minum (BPAM).

Pada masa awal kemerdekaan, pembangunan instalasi pengolahan air (IPA) masih terbatas pada beberapa ibu kota provinsi, seperti Bandung, Surabaya, Semarang, Banjarmasin, Padang, Manado dan Makassar. Peningkatan kapasitas produksi berupa pembangunan secara fisik menjadi prioritas sesuai dengan penetapan Badan Perancang Nasional (sekarang Bappenas). Setelah proyek-proyek tersebut selesai, sesuai dengan PP No. 18 tahun 1953 tentang pelaksanaan desentralisasi/penyerahan sebagian urusan Pemerintah Pusat termasuk bidang Pekerjaan Umum, pengelolaan sistem penyediaan air minum (SPAM) pun kemudian diserahkan kepada Pemerintah Daerah. Mayoritas sistem penyediaan air minum itu telah

mengambil bentuk sebagai badan usaha milik daerah dengan nama Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Landasan hukum yang melatar belakangi pembentukan PDAM adalah dengan diterbitkannya UU No. 5 tahun 1962 tentang Perusahaan Daerah, termasuk didalamnya tentang pembentukan PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) sebagai badan usaha milik daerah. Undang-undang tersebut di kemudian hari menuai kontroversi karena memberikan legitimasi kepada Pemerintah Daerah untuk memungut bagi hasil dari PDAM sebagai Pendapatan Asli Daerah (PAD) kepada PDAM, terlepas dari apakah kondisi keuangan PDAM memungkinkan atau tidak untuk menyetor PAD. Padahal, selain merupakan badan usaha milik daerah, PDAM juga memiliki fungsi sosial untuk memberikan pelayanan air minum kepada masyarakat, yang merupakan kebutuhan dasar manusia.

Proyek pembangunan SPAM skala besar di kota-kota besar/ibukota provinsi tersebut dilaksanakan setelah Jawatan Teknik Penyehatan terbentuk pada akhir tahun 1952. Beberapa IPA/SPAM skala besar yang dibangun di era itu dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Pembangunan SPAM di beberapa ibu kota provinsi**

| IPA           | Kota        | Tahun | Kapasitas<br>(liter/detik) |
|---------------|-------------|-------|----------------------------|
| Pejompongan I | Jakarta     | 1954  | 2.000                      |
| Tamansari     | Bandung     | 1956  | 1.000                      |
| Ngagel        | Surabaya    | 1958  | 1.000                      |
| Kaligarang    | Semarang    | 1960  | 500                        |
| A. Yani       | Banjarmasin | 1962  | 500                        |

|                 |          |      |       |
|-----------------|----------|------|-------|
| Paal II         | Manado   | 1962 | 500   |
| Gunung Pangliun | Padang   | 1962 | 250   |
| Panaikang       | Makassar | 1963 | 1.000 |
| Pejompongan II  | Jakarta  | 1967 | 3.000 |

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia, 2015)

## **BAB IV**

### **PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : ERA ORDE BARU**

#### **A. Sejarah Perkembangan**

Masa Orde Baru berlangsung selama kurang lebih 30 tahun dengan melalui satu periode pembangunan jangka panjang 25 tahun pertama (1969-1994) dan satu periode jangka menengah berikutnya yaitu Pelita VI (1994-1998). Periode ini dimulai dengan merehabilitasi sarana yang sudah ada dari masa pra kemerdekaan, yang dilanjutkan dengan ekstensifikasi dan perluasan cakupan pelayanan air minum di perkotaan maupun di perdesaan. Secara umum pengembangan air minum pada masa Orde Baru meliputi:

##### **a. Kebijakan prioritas pengembangan**

Kebijakan yang diterapkan dalam prioritas pengembangan antara lain:

- Melanjutkan proyek yang telah dimulai pada periode sebelumnya
- Melakukan rehabilitasi dan optimalisasi sistem penyediaan air minum yang telah ada di seluruh provinsi
- Melakukan perluasan (ekstensifikasi) kapasitas secara bertahap dengan tujuan memenuhi kebutuhan dasar 60 liter per orang per hari dan tersebar di seluruh provinsi, baik untuk kota metropolitan, kota besar, kota sedang, kota kecil dan ibukota kecamatan (IKK) maupun perdesaan.

##### **b. Kebijakan pendanaan**

Kebijakan yang diterapkan dalam pendanaan adalah dengan memprioritaskan dana yang bersumber dari APBN. Urutan berikutnya dengan pemanfaatan dana bantuan luar negeri dengan mengutamakan bantuan hibah (Pemerintah Australia, Selandia Baru, dan Jerman), pinjaman bilateral (Jepang, Belanda, dan Jerman) dan pinjaman multilateral (Bank Dunia, ADB).

c. Kebijakan teknis-teknologis

Untuk proyek rehabilitasi dan perluasan, kebijakan teknis-teknologis masih terbatas pada pemanfaatan teknologi yang ada dengan modifikasi secara terbatas, khususnya untuk proyek rehabilitasi dan perluasan. Untuk proyek baru (ekstensifikasi), kebijakan dimulai dari tahapan penyiapan rencana induk, studi kelayakan dan perencanaan detail sesuai dengan kriteria teknis yang berlaku.

d. Kebijakan kelembagaan dan pengaturan

Dalam aspek kelembagaan, pada tahun 1969 dibentuk PPSAB (Proyek Penyediaan Sarana Air Bersih) di setiap provinsi yang bertugas dalam pelaksanaan kegiatan pembangunan air minum pada kota-kota di provinsi yang bersangkutan, yang dalam pelaksanaannya berkoordinasi dengan Kepala Dinas Pekerjaan Umum Provinsi dan Kepala Kantor Wilayah Pekerjaan Umum Provinsi. Ketika proyek sudah selesai, maka tanggung jawab pengelolaan beralih ke Badan Pengelola Air Minum (BPAM) bagi kota-kota yang belum memiliki PDAM, yang merupakan cikal bakal terbentuknya PDAM. Pada periode ini juga terbit sejumlah peraturan perundangan yang mengatur tentang air minum, baik dari

aspek penyediaan, pengembangan, hingga pengelolaan bidang air minum.

## **B. Pembangunan Lima Tahun Tahap Pertama (Pelita I)**

Program Pembangunan Lima Tahun Pertama (Pelita I) berlangsung dari tahun 1969-1974, dan untuk menyukseskan program Pelita I, sumber pendanaan disokong dari APBN. Fokus dalam kebijakan pembangunan air minum pada Pelita I terletak pada kegiatan rehabilitasi dan perluasan yang meliputi perluasan sistem penyediaan air minum yang lama dan pembangunan sistem penyediaan air minum yang baru. Pada akhir Pelita I (1974), kapasitas produksi air minum telah meningkat menjadi 15.222 liter per detik, walau belum mencapai sasaran yang ditentukan sebelumnya yaitu 17.000 liter per detik.

Meskipun pada Pelita I produksi air minum masih belum mencapai target yang ditentukan, namun ada beberapa hal positif yang menjadi perbaikan dari sistem yang sudah ada, antara lain:

- **Pengelolaan pendanaan bantuan luar negeri yang lebih baik**

Dalam pemenuhan kebutuhan air minum di kota Jakarta yang semakin mendesak, pada masa ini kebijakan peminjaman OECF (*Overseas Economic Cooperation Fund*) dari Jepang dilakukan. Selain pinjaman dari Jepang, pinjaman juga berasal dari Bank Dunia untuk pembangunan air minum kota Jambi, Purwokerto, Malang, Banyuwangi dan Samarinda. Sejak Pelita I, semua pengajuan proyek yang berasal dari dana pinjaman dan bantuan luar negeri ditinjau langsung oleh Bappenas. Proyek yang dianggap layak kemudian dimasukkan ke dalam daftar yang dikenal sebagai Blue Book. Kemudian Blue Book tersebut diteruskan oleh Bappenas kepada

negara-negara dan berbagai lembaga keuangan internasional pemberi bantuan sebagai bahan pertimbangan untuk memberi pinjaman bagi pembangunan infrastruktur air minum. Dengan terjalannya proses kemitraan yang baik dengan pihak luar negeri, dari sini pula para pemangku kebijakan Indonesia di bidang air minum mulai mengenal sistem pelelangan internasional, yang akhirnya menciptakan prinsip transparansi dan kompetisi yang sehat antar pekerja jasa konsultan maupun kontraktor.

- **Peningkatan SDM dan manajemen di bidang air minum**

Upaya perbaikan manajemen PDAM di era ini ditandai dengan penyusunan peraturan-peraturan pokok teknik penyehatan air minum. Selain itu, peningkatan pada sektor kualitas sumber daya manusia semakin ditingkatkan melalui kursus dan pelatihan. Pemerintah Pusat membangun dan menyediakan balai pendidikan dan pelatihan (diklat) yang berlingkup nasional. Salah satu di antaranya adalah balai *training and technical assistance* bagi para pelaksana PDAM, khususnya para operator. Sedangkan untuk kebutuhan internal Direktorat Teknik Penyehatan, upaya meningkatkan kompetensi di bidang air minum juga telah dilakukan, antara lain tenaga-tenaga sarjana muda dari ATPU (Akademi Teknik Pekerjaan Umum) yang banyak bertugas di Direktorat Teknik Penyehatan, diberi kesempatan untuk menyelesaikan pendidikannya di ITB sehingga menjadi S1 Teknik Penyehatan.

Fasilitas seperti peralatan gambar dan alat-alat survey serta laboratorium pemeriksaan kualitas air yang memadai juga mendukung kerja dari Direktorat Teknik Penyehatan, Laboratorium ini memiliki kemampuan analisis kimia dan mikrobiologi air minum

dan air limbah guna menjamin bahwa sistem yang dibangun menghasilkan air yang memenuhi syarat kesehatan.

### **C. Pembangunan Lima Tahun Tahap Kedua (Pelita II)**

Pelita II yang berlangsung selama 1974-1978, berfokus terhadap langkah-langkah perbaikan pengelolaan air minum. Pemerintah mulai menyusun Rencana Induk Air Minum untuk 120 kota dan pembuatan detail desain untuk 110 kota. Kebijakan ini diiringi dengan peralihan status institusi pengelolaan air minum, yang semula dipegang Jawatan/Dinas menjadi Perusahaan Daerah.

Pada akhir Pelita II, hasil pembangunan air minum adalah sebesar 5.030 liter per detik yang tersebar di 96 kota, dengan jumlah sambungan rumah sebanyak 310.000 yang dapat melayani 2,5 juta penduduk. Hasilnya, hingga akhir Pelita II, kapasitas produksi air minum yang telah terpasang di seluruh Indonesia meningkat menjadi 20.252 liter per detik.

Periode Pelita II meninggalkan beberapa catatan sejarah penting dalam perkembangan air minum di Indonesia, antara lain:

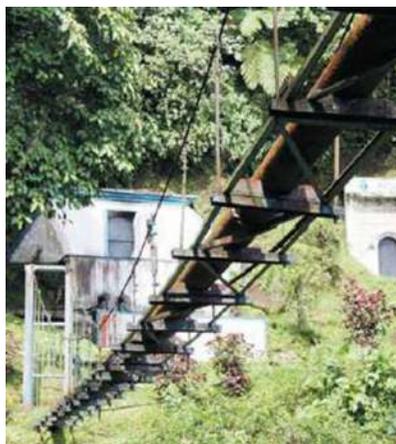
- **Pengelolaan dana PDAM yang lebih mandiri**

Dalam sistem pembiayaan, pemerintah mengeluarkan kebijakan baru terkait sistem pembiayaan, yaitu untuk beberapa kota yang sudah mampu diarahkan untuk melaksanakan pembangunan air minumnya dengan cara pinjaman penuh atau sebagian. Agar PDAM dapat mengembalikan biaya investasi pembangunan yang telah dipinjam, maka dalam pengelolaan sistem penyediaan air minum PDAM diberikan keleluasaan dalam melakukan pelayanan sambungan sebanyak mungkin untuk meningkatkan pendapatan.

Untuk mempermudah dan mempercepat pembentukan PDAM di setiap daerah, maka lahirlah Badan Pengelola Air Minum (BPAM) yang merupakan lembaga transisi sebelum PDAM terbentuk, dengan dana operasional yang sepenuhnya ditunjang oleh Pemerintah Pusat.

- **Lahirnya Bandung Urban Development Project (BUDP) dan Medan Urban Development Project (MUDP)**

Pada tahun 1974, Bank Pembangunan Asia (ADB) memberikan pinjaman untuk mendukung pembangunan fasilitas perkotaan, yang juga tercakup di dalamnya kegiatan pembangunan fasilitas air minum. Bantuan ini dikenal dengan *Bandung Urban Development Project* (BUDP), yang kemudian berlanjut dengan *Medan Urban Development Project* (MUDP). Dalam rangka meningkatkan peran provinsi dalam koordinasi pelaksanaan proyek-proyek di daerah, dibentuk *Provincial Monitoring Development Unit* (PMDU) di seluruh provinsi di Indonesia, yang melekat pada fungsi Dinas Cipta Karya Provinsi.



Gambar 24. Jaringan penyuplai air PDAM Tirtanadi Medan cabang Sibolangit

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia (2015))

- **Perkembangan sistem penyediaan air minum yang semakin meluas**

Upaya ekstensifikasi pada Pelita II terus berlanjut untuk mewujudkan pemerataan pengadaan sistem penyediaan air minum hingga menjangkau kota-kota sedang dan kecil. Agar memudahkan dalam implementasinya, maka dilakukan klasifikasi kota yang didasarkan pada jumlah penduduk. Untuk kota yang mempunyai penduduk  $\geq 1$  juta jiwa dikategorikan sebagai kota metropolitan, yang berpenduduk  $\geq 500.000$  -  $< 1$  juta jiwa masuk kategori kota besar, yang berpenduduk  $\geq 100.000$  -  $< 500.000$  jiwa dikelompokkan sebagai kota sedang, dan yang berpenduduk  $< 20.000$  jiwa disebut sebagai kota kecil.

- **Perbedaan persepsi antara air minum dan air bersih**

Pada saat ini pula perbedaan pendapat dalam penggunaan istilah air bersih sebagai pengganti air minum. Istilah air bersih digunakan oleh PPSAB, sedangkan PDAM dan BPAM tetap menggunakan istilah air minum. Mengacu pada padanannya dalam Bahasa Inggris, Hidayat Notosugondo dalam buku Pengembangan Air Minum Indonesia (2015) berpendapat bahwa “*drinking water is the one that is safe to drink*” sedangkan “*potable water is the one that is safe to drink, pleasant to the taste and usable for domestic purposes.*” Definisi air bersih yang diajukan Hidayat Notosugondo ternyata sejalan dengan definisi dari WHO dan UNICEF, yang menyatakan bahwa “*drinking water is water used for domestic purposes, drinking, cooking and personal hygiene*”. Pada akhirnya, istilah air

minum digunakan tidak hanya terbatas untuk keperluan minum saja, akan tetapi juga mencakup kebutuhan rumah tangga yang lebih luas seperti memasak, mencuci dan sanitasi.

#### **D. Pembangunan Lima Tahun Tahap Ketiga (Pelita III)**

Pada periode 1979-1983, berlangsung Pelita III yang berfokus terhadap pemerataan pembangunan prasarana dan sarana air minum. Catatan-catatan yang terekam selama pembangunan yang dilakukan di Pelita III antara lain:

- **Penerapan kebijakan *Basic Need Approach* (BNA)**

Dalam Pelita III, Pemerintah mulai memperkenalkan pendekatan standar kebutuhan minimal air minum (BNA atau *basic need approach*), dengan pemakaian sebesar 60 liter per orang per hari, melalui pelayanan sambungan rumah (SR) dan hidran umum (HU) dengan rasio SR/HU sebesar 50 : 50, dan pelayanan bagi 60% penduduk perkotaan. Kebijakan ini diambil agar pelaksanaan pembangunan berlangsung secara efisien dengan memfokuskan pelayanan bagi penduduk perkotaan dalam jangka pendek.

- ***Break even point* bagi PDAM dan BPAM skala besar**

Istilah “*break even point*” mulai dikenal pada masa ini. Istilah ini tercipta karena pengelola PDAM dan BPAM didorong untuk mencapai kondisi ketercapaian tingkat pendapatan tertentu dalam mendukung biaya operasional dan pemeliharaannya. Hal ini berlaku bagi kota-kota dengan tingkat pelayanan diatas 125 liter per orang per hari, karena bagi kota dengan tingkat pelayanan 125 liter per orang per hari ini tidak mendapatkan bantuan penuh dari pemerintah daerah, bahkan sebagian dananya berasal dari pinjaman. Berbeda

halnya dengan pemenuhan kebutuhan dasar di kota-kota kecil yang masih memungkinkan untuk mendapatkan bantuan penuh dari pemerintah.

- **Munculnya inovasi desain dalam IPA**

Sejalan dengan penetapan dasawarsa 1981-1990 sebagai Dekade Air Minum dan Sanitasi Internasional oleh PBB, maka Dalam rangka akselerasi dan ekstensifikasi, dilakukan pembangunan IPA Paket di hampir seluruh pelosok Nusantara, dan proyek ini disebut “quick yielding”. Program pembangunan sarana air minum dilakukan secara fisik di 200 kota, yang terdiri atas 10 kota besar, 40 kota sedang dan 150 kota kecil. Dalam periode ini muncul inovasi desain IPA yang dibuat oleh tenaga ahli di lingkungan Ditjen Cipta Karya sendiri, yang memiliki berbagai keunggulan dalam efisiensi dan biaya.



Gambar 25. *Control room* IPA Pejompongan

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia, 2015)

Inovasinya terletak pada proses pencampuran (*mixing*) yang menggunakan aliran heliocoidal, serta pengendapan dengan aplikasi

*tube/plate settler*. IPA yang kemudian diberi nama Kedasih (Keluaran Direktorat Air Bersih) tersebut, telah diaplikasikan di banyak tempat di seluruh tanah air. Selain itu dikembangkan pula IPA Paket, dimana komponen-komponennya diproduksi secara masal di pabriknya, lalu kemudian dirakit di lokasi proyek. Jadi untuk kegiatan di lokasi proyek hanya sebatas untuk mempersiapkan fondasi yang diperlukan serta memadukan komponen-komponen IPA menjadi sebuah IPA yang siap berproduksi, setelah sebelumnya mendapatkan sertifikasi dari BALITBANG Departemen Pekerjaan Umum.

- **Realisasi Program Paket I, Program Paket II, dan Program IKK**

Program paket IPA kemudian diarahkan ke Program Paket I (50 kota) dan Program Paket II (60 kota) yang ditujukan untuk ibu kota kabupaten, dan Program IKK (Ibu Kota Kecamatan) sebanyak 1.700 kecamatan. Dalam pelaksanaan Program Paket I dan Paket II, Direktorat Jenderal Cipta Karya telah menandatangani kontrak dengan tiga pabrik yang menawarkan tiga sistem pengolahan yang berbeda (Pielkenroth, Patterson Candy dan Neptune Microfloc).

Ketiga macam sistem yang digunakan pada dasarnya sama, yaitu sistem konvensional sederhana, tidak seperti sistem accelerator atau pulsator. Perbedaannya terdapat pada proses pengolahannya. Pada proses pengendapannya, yang satu menggunakan *tube settlers*, sedang yang lainnya *plate settler*. Demikian pula pada proses filtrasi dan disinfeksi, masing-masing perusahaan mempunyai sistem sendiri-sendiri.

Pada akhir Pelita III kapasitas terpasang sistem penyediaan air minum meningkat dari 21.000 liter per detik menjadi 26.000 liter per detik. Program pembentukan BPAM pun terus berlanjut dan selama Pelita III setidaknya terbentuk 28 BPAM, sehingga pada akhir Pelita III terdapat 150 BPAM.



Gambar 26. SPAM IKK Sindang Pasekan Kab. Indramayu

(Sumber: <http://ciptakarya.pu.go.id/pspam/>)

Untuk mencapai pemerataan dan percepatan penyediaan air minum diperkenalkan proyek air minum sistem IKK dengan sasaran ibu kota kecamatan. Dalam program IKK ini, sampai dengan TA 1997/98, sasaran yang telah dicapai adalah sebagai berikut: IKK yang dibangun dengan dana APBN murni sebanyak 396 unit, yang dibangun dengan pinjaman Pemerintah Belanda sebanyak 99 unit, dengan dana pinjaman Denmark 44 unit, dengan dana pinjaman Perancis 100 unit, dengan dana hibah JICA 22 unit, dengan dana pinjaman OECF 51 unit, dengan dana pinjaman IBRD 100 unit, dan dengan dana pinjaman ADB 279 unit. Seluruh kota-kota yang telah dibangun dengan sistem IKK adalah 1091 unit.

- **Terbentuknya Direktorat Air Bersih (DAB) dan Direktorat Penyehatan Lingkungan Permukiman (PLP)**

Karena sektor penyehatan lingkungan dan sanitasi semakin menuntut perhatian besar dari Pemerintah, maka pada akhir Pelita III (1979-1984), Direktorat Teknik Penyehatan dipecah menjadi dua direktorat, yakni Direktorat Air Bersih (DAB) dan Direktorat Penyehatan Lingkungan Permukiman (PLP).



Gambar 27. Instalasi pengolahan limbah tinja

(Sumber: Biro Komunikasi Publik Kementerian PUPR)

Beberapa upaya dalam meningkatkan sektor penyehatan lingkungan ini terlihat dari pembangunan instalasi pengolahan air limbah di sejumlah kota besar, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dan pembuangan akhir sampah dengan sistem *sanitary landfill* di kota-kota besar dan sedang, perbaikan kampung, dan proyek percontohan pengelolaan sampah dan air limbah sistem modul.

## E. Pembangunan Lima Tahun Tahap Keempat (Pelita IV)

Pelita IV berlangsung selama periode 1984-1988. Pembangunan yang semakin gencar dilakukan oleh pemerintah Indonesia mulai menemui jalan terjalnya karena resesi ekonomi yang terjadi pada saat itu. Momen-momen yang terjadi pada Pelita IV antara lain sebagai berikut:

- **Kelanjutan upaya penyediaan air minum di pedesaan**

Penduduk pedesaan memperoleh air minum dengan berbagai cara. Di daerah dimana air tanah dangkalnya cukup baik umumnya memanfaatkan sumur-sumur gali. Adapula yang mengambil dari sungai atau saluran irigasi terdekat, penampungan air hujan (PAH), bahkan di daerah pegunungan umumnya mereka menempuh jarak yang cukup jauh untuk mengambil air dari sumber mata air.

Sebagai bagian dari peningkatan kehidupan masyarakat dan pencegahan terhadap penyakit menular, Departemen Kesehatan yang berkolaborasi dengan Departemen Pekerjaan Umum terus mengupayakan suplai air bersih di daerah pedesaan dengan pembangunan prasarana dan sarana air minum dengan sistem perpipaan.



Gambar 28. Teknologi Pengolahan Air dengan SARUT

(Sumber: <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/produk/>)

Selain itu, pemerintah juga memberi perhatian khusus untuk membangun sarana air minum di kawasan terpencil dan pedesaan melalui teknologi tepat guna. Teknologi yang digunakan tersebut diharapkan dapat dibangun dengan bahan dan tenaga kerja setempat. Beberapa pendekatan teknologi tepat guna yang diterapkan antara lain Saringan Rumah Tangga (SARUT) dan Sistem Pengolahan Air Sederhana (SIPAS). Dengan pendekatan tersebut diharapkan masyarakat setempat dapat berpartisipasi secara aktif dalam pembangunan dan pengelolaannya.

- **Bertambahnya jumlah PDAM dan BPAM di seluruh Indonesia**

Pada awal Pelita IV (1987/1988), jumlah PDAM telah mencapai 114 dan BPAM sebanyak 157 buah. Dari 114 PDAM tersebut, 40 PDAM dinilai sudah siap untuk mandiri. Artinya, PDAM tersebut sudah mampu mengupayakan sendiri sumber-sumber dana bagi pembangunan atau memperluas prasarana air minum di wilayah pelayanannya. Dan setelah lima tahun berjalan, pada akhir Pelita IV, jumlah BPAM berkurang, 157 menjadi 148 BPAM. Sedangkan jumlah PDAM semakin bertambah, dari 114 menjadi 137 PDAM. Dalam hal kapasitas produksi air minum juga terjadi penambahan sebesar 14.000 liter per detik bagi 800.000 sambungan rumah untuk memenuhi kebutuhan sekitar 8,2 juta jiwa penduduk.

- **Tercetusnya Program Pembangunan Prasarana Kota Terpadu (P3KT)**

Pada tahun 1985 dilancarkan Program Pembangunan Prasarana Kota Terpadu (P3KT) atau *Integrated Urban Infrastructure Development Program* (IUIDP). P3KT merupakan pola pendekatan

pembangunan dari bawah ke atas (*bottom up approach*), dan perwujudan dari azas desentralisasi yang dijalankan secara nyata dan bertanggung jawab sehingga pemerintah daerah diberikan kewenangan penuh dari penyusunan rencana sampai pelaksanaannya. Keterpaduan proses pembangunan dalam P3KT tidak terbatas pada pembangunan sektor fisiknya saja melainkan juga sumber-sumber pembiayaannya, baik dari pemerintah pusat dan pemerintah daerah maupun PDAM, termasuk di dalamnya program pengembangan sistem penyediaan air minum dan penyehatan lingkungan perkotaan.

Beberapa program pembangunan prasarana kota terpadu (Urban Development Program – UDP) antara lain East Java UDP, West Java – Sumatera UDP, Bandar Lampung UDP, Central Java UDP, Medan UDP, yang kesemuanya merupakan kelanjutan dari program sebelumnya seperti Urban I sampai V (program perbaikan kampung/KIP), Bandung UDP (BUDP), Cirebon UDP (CUDP), Yogyakarta UDP (YUDP), dan lain sebagainya.

#### **F. Pembangunan Lima Tahun Tahap Kelima (Pelita V)**

Pelita V yang berlangsung dari tahun 1989-1993 merupakan tahap kerangka lepas landas Pembangunan Jangka Panjang Tahap II (PJP-II). Pembangunan prasarana dan sarana air minum selain difungsikan sebagai pemenuhan kebutuhan dasar masyarakat, juga berfungsi untuk menunjang sektor lain, seperti sektor industri dan sektor perdagangan. Perluasan fungsi prasarana dan sarana air minum ini lah yang menjadi pembeda Pelita V dengan Pelita sebelumnya.



Gambar 29. Hidran umum

(Sumber: Pengembangan Air Minum Indonesia (2015))

Dengan target kapasitas sebesar 14.000 liter per detik, diharapkan pelayanan air bersih dapat dimanfaatkan oleh 6 juta penduduk di 820 kota serta 42 juta jiwa di 3000 desa. Sasaran pelayanan pada Pelita V adalah 80% penduduk perkotaan dan 60% penduduk perdesaan.

### **G. Pembangunan Lima Tahun Tahap Keenam (Pelita VI)**

Pelita VI yang berlangsung selama periode 1994-1998 merupakan pijakan landasan baru bagi pemerintah untuk memulai periode pembangunan jangka panjang tahap dua. Berkaca dari capaian pada Pelita III, kemajuan yang telah terealisasi antara lain:

- a) Pada tahun 1990, penurunan angka kemiskinan dari 70 juta jiwa (60%) pada tahun 1970 menjadi 27 juta jiwa (15%).
- b) Pada awal Pembangunan Jangka Panjang Tahap Pertama (PJP I) pendapatan perkapita meningkat dari US\$ 70 menjadi US\$ 650 pada akhir PJP I.
- c) Peningkatan usia harapan hidup dari 45,7 tahun pada tahun 1970 menjadi 62,7 tahun pada tahun 1993.

- d) Penurunan tingkat kematian bayi dari 145 per 1000 kelahiran hidup menjadi 58 per 1000 kelahiran hidup.

Sama halnya dengan Pelita III, Pelita VI yang berfokus pada pembangunan air minum di perkotaan juga meninggalkan kemajuan yang signifikan di antaranya:

- a) Penurunan kebocoran pada kegiatan pengelolaan air dari 30% menjadi 25%.
- b) Perluasan wilayah cakupan dalam memenuhi kebutuhan dasar serta menunjang perkembangan ekonomi kota dan kawasan pertumbuhan.
- c) Peningkatan kapasitas produksi dan distribusi sebesar 30.000 liter per detik yang didukung dengan perluasan jaringan distribusi dan sambungan rumah serta hidran umum dan terminal air.



Gambar 30. SPAM Perdesaan, DI Yogyakarta

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

- d) Pembangunan sistem perpipaan untuk wilayah perdesaan yang berfungsi sebagai pengembangan terpadu antar desa, pengembangan penerapan teknologi tepat guna, peningkatan swadaya masyarakat desa, peningkatan penyuluhan tentang pentingnya penggunaan air minum bagi kesehatan serta

pengoperasian dan pemeliharaan prasarana dan sarana air minum perdesaan.

## **BAB V**

### **PERKEMBANGAN AIR MINUM DI INDONESIA : ERA REFORMASI**

#### **A. Sejarah Perkembangan**

Sejak tahun 1998, lahirlah reformasi politik dengan sistem pemerintahan yang lebih demokratis dan pemberian otonomi yang lebih luas kepada daerah. Perwujudan otonomi daerah tersebut tertuang dalam UU No. 22 Tahun 1999 tentang Otonomi Daerah yang diperbaharui dengan UU No.32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah. Sedangkan untuk landasan hukum yang terkait bidang air minum, mengacu pada UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air dan PP No.16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.

Kondisi pemerintahan yang masih labil terjadi setidaknya pada sepuluh tahun pertama era reformasi. Kondisi pemerintahan yang lebih stabil itu baru terjadi pada tahun 2004, yang tercermin pada pengembangan air minum yang lebih terarah dan terencana, dan didukung dengan telah tersusunnya Rencana Pembangunan Jangka Panjang 2005-2025.

#### **B. Masa transisi**

Dalam lima tahun pertama era reformasi (1999-2004), pengembangan fasilitas air minum masih berfokus pada kelanjutan dari kegiatan proyek-proyek bantuan luar negeri yang disiapkan melalui pendekatan P3KT sebelumnya, seperti Semarang-Surakarta UDP

(SSUDP), Sulawesi II UDP, serta Bali Urban Infrastructure Project (BUIP).

Resesi ekonomi yang terjadi pada masa itu mengakibatkan tingginya angka pengangguran, sehingga untuk mengatasi problematika tersebut banyak proyek air minum yang dikerjakan dengan pendekatan padat karya melalui dana APBN. Salah satu proyek yang dikerjakan dengan pendekatan padat karya diantaranya adalah pembangunan saluran air baku dari Bendung Klambu ke Kudus untuk air minum kota Semarang (SSUDP).

Selain kegiatan padat karya seperti yang dijelaskan di alinea sebelumnya, kegiatan lain yang juga digalakkan pada masa itu adalah Program SE-AB (Subsidi Energi-Air Bersih). Program ini ditujukan kepada masyarakat miskin di daerah kumuh perkotaan yang belum terlayani oleh PDAM dan rawan air bersih, yaitu daerah yang kondisi air tanah dangkalnya tidak layak minum (payau, asin) atau langka sehingga masyarakat terpaksa membeli air bersih dengan harga mahal atau mengambil dari lokasi yang jauh. Kegiatan ini berjalan selama empat tahun (2001-2004) dengan dana rata-rata Rp. 300 milyar per tahun. Jumlah lokasi yang masuk dalam cakupan ini berjumlah 1300 desa/dusun/kampung/kelurahan.

Di dunia internasional, Pemerintah Indonesia juga turut serta dalam penandatanganan dan pernyataan komitmen terhadap semangat gerakan Millennium Development Goals (MDGs). Gerakan ini diinisiasi oleh PBB pada tahun 2000 dalam rangka perang terhadap kemiskinan dan keterbelakangan. Dalam hal air minum dan sanitasi, target MDGs pada tahun 2015 adalah mengurangi hingga separuh dari penduduk yang belum memiliki akses ke sarana air minum yang aman.

Pada periode ini juga diluncurkan program yang diberi nama WASPOLA (*Water Supply and Sanitation Policy Formulation and Action Planning*), yang merupakan kerja sama antara pemerintah Indonesia dengan pemerintah Australia (AusAID) yang difasilitasi oleh WSP-EAP (Water and Sanitation Program East Asia and the Pacific) dari Bank Dunia. WASPOLA Facility memberikan dukungan fasilitas kepada Pemerintah Indonesia melalui berbagai program pengelolaan layanan air minum dan sanitasi.

Pada akhir masa transisi ini (tahun 2004), ketercapaian akses air minum aman nasional penduduk Indonesia sebesar 48,8%, akses air minum perkotaan 56,77% dan akses air minum perdesaan 42,9%.

### **C. Periode Pelaksanaan RPJMN Tahap I dari RPJP 2005 - 2025**

Periode ini berlangsung selama periode 2005-2009 dan ditandai dengan adanya peraturan perundangan yang lebih lengkap, baik yang terkait dengan pemerintahan umum (UU No 32 tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah), maupun yang terkait dengan sektor/teknis (UU No 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air), dan telah tersusunnya Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) 2005-2025, serta Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2005-2009. Untuk peraturan perundangan tentang air minum yang lebih jelas dan menyeluruh ditandai dengan diterbitkannya PP 16 tahun 2005 tentang pengembangan SPAM.

PP 16 tahun 2005 berisi peraturan tentang penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) mulai dari perencanaan, konstruksi, pengelolaan fisik dan non-fisik. Sedangkan UU No 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air mendasari terbentuknya Badan

Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (BPPSPAM), yang dibentuk pada tahun 2005. BPPSPAM mempunyai tugas yaitu membantu pemerintah pusat dan pemerintah daerah dalam rangka meningkatkan penyelenggaraan sistem penyediaan air minum yang dilaksanakan oleh BUMN dan/atau BUMD penyelenggaraan sistem penyediaan air minum. Sedangkan fungsi BPPSPAM antara lain:

- Penilaian kinerja penyelenggaraan SPAM oleh BUMN/BUMD dalam rangka pemenuhan persyaratan kualitas, kuantitas dan kontinuitas pelayanan SPAM;
- Fasilitasi peningkatan kinerja penyelenggaraan SPAM oleh BUMN/BUMD dalam rangka pemenuhan persyaratan kualitas, kuantitas dan kontinuitas pelayanan SPAM;
- Pemberian rekomendasi kepada Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah dalam rangka peningkatan penyelenggaraan SPAM yang diselenggarakan oleh BUMN/BUMD;
- Pemberian rekomendasi kepada Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah dalam rangka menjaga kepentingan yang seimbang antara penyelenggara dan pelanggan.



Gambar 31. Sejarah BPPSPAM

(Sumber: <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/bppspam/>)



Gambar 32. Perubahan Kelembagaan BPPSPAM

(Sumber: <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/bppspam/>)

Pada tahun 2005, diadakan rekapitulasi pencapaian pengembangan sistem penyediaan air minum, dimana hasilnya tingkat ketercapaian cakupan pelayanan air minum di perkotaan baru 40% (sekitar 33 juta jiwa), sedangkan di pedesaan mencapai 8% (sekitar 10 juta jiwa). Dengan total kapasitas produksi 95.540 liter per detik, semestinya bisa memenuhi kebutuhan 95 juta jiwa. Catatan negatif juga terlihat pada tingkat kehilangan air rata-rata mencapai 40%, sehingga yang terlayani baru sekitar 43 juta jiwa. Beberapa faktor yang mengakibatkan rendahnya pelayanan penyediaan air minum oleh PDAM ini dikarenakan kesulitan pembiayaan, tarif yang lebih rendah dari biaya produksi, utang yang terus membengkak, mutu SDM yang memprihatinkan, kesulitan dalam mendapatkan sumber air baku, intervensi Pemda, dan lain sebagainya.

Untuk membantu PDAM dalam mengatasi masalah tersebut, Departemen Pekerjaan Umum bekerjasama dengan Departemen Keuangan membentuk program-program antara lain:

- Program penyehatan PDAM melalui dukungan hibah dari ASEM Trust Fund (Water Utility (PDAM) Rescue Program) yang dikelola Bank Dunia.
- Program WASAP B yang dikelola PERPAMSI, dengan mengadakan berbagai seminar, lokakarya, pelatihan, program twinning, pendampingan, dan kegiatan sejenis dalam rangka meningkatkan kemampuan pengelolaan PDAM.
- Departemen Keuangan kemudian melanjutkan upaya penyehatan PDAM dengan meluncurkan program restrukturisasi utang PDAM. Restrukturisasi utang membuat bunga dan denda dihapus, tetapi pelunasan utang pokok tetap harus dilakukan dengan dicicil setelah dijadwal ulang.

Dengan berbagai kebijakan yang ditempuh tersebut, akhirnya pada periode ini situasi ekonomi mulai menunjukkan perbaikan. Kementerian Pekerjaan Umum juga terus mendukung pengembangan SPAM di kabupaten/kota sebagai bentuk pembinaan. Program-program air minum IKK, Perdesaan dan fasilitasi PDAM dengan dana APBN Kementerian Pekerjaan Umum setiap tahun terus terjadi peningkatan, untuk mencapai sasaran RPJMN dan MDGs. Inovasi-inovasi pengembangan SPAM terus diupayakan baik dari aspek teknis teknologis maupun dalam sumber-sumber pendanaan.

Tetapi di sisi lain, program desentralisasi dan otonomi daerah ternyata menimbulkan dampak yang kurang menguntungkan. Beberapa PDAM dapat melalui masalah pemekaran itu dengan baik, tetapi

sebagian besar lainnya justru menimbulkan masalah tersendiri, seperti konflik pembagian aset, masalah dari segi ekonomi (terutama untuk PDAM yang jumlah pelanggannya sedikit), serta masalah ketersediaan air baku. Sebagai contoh, konflik terkait penyerahan aset pernah dialami oleh PDAM Kabupaten Serang dengan PDAM hasil pemekarannya, yakni PDAM Kota Cilegon.



Gambar 33. PDAM Intan Banjar

(Sumber: <https://habarkalimantan.com/>)



Gambar 34. PDAM Giri Menang

(Sumber: <https://katada.id/>)

Sedangkan beberapa PDAM yang dapat melalui masalah pemekaran tersebut diantaranya adalah PDAM Intan Banjar yang

melayani dua wilayah pemerintahan, yakni Kabupaten Banjar dan Kota Banjarbaru, serta PDAM Giri Menang yang melayani Kota Mataram dan Kabupaten Lombok Barat. Hal itu terjadi karena adanya kesamaan persepsi antara manajemen PDAM dengan Kepala Daerah terkait. Patut dicatat bahwa kedua PDAM tersebut merupakan model regionalisasi sistem penyediaan air minum yang cukup berhasil.

Hasil kerja yang dilakukan oleh BPPSPAM juga mulai terlihat hasilnya, dimana semakin banyak bermunculan beberapa PDAM dengan kinerja yang cukup baik dan menjadi acuan bagi PDAM lainnya, seperti PDAM Surabaya, Kota dan Kabupaten Bogor, Kabupaten Bandung, Surabaya, Malang, Palembang, Medan, Banjarmasin, Pontianak dan lain sebagainya.



Gambar 35. Peran BPPSPAM dalam pengembangan PDAM

(Sumber: <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/bppspam/>)

Disamping itu, upaya mendorong pihak swasta ikut serta dalam pengembangan SPAM juga sudah terlihat hasilnya,

diantaranya Kerjasama Pemerintah dan Swasta (KPS) di Kabupaten Tangerang serta Kerjasama Business-to-Business (B to B) di beberapa kota / kabupaten seperti di Kabupaten Sidoarjo, Kota Tangerang, Kabupaten Serang, dan lain sebagainya. Hingga tahun 2009, kurang lebih terdapat 20 proyek KPS dan B to B bidang pengembangan SPAM yang tersebar di berbagai kabupaten/kota di seluruh Indonesia. Dari semua proyek tersebut, 1.832.000 sambungan rumah terlayani dengan total kapasitas 22.380 liter per detik. Hal ini menunjukkan kontribusi yang sangat baik dan positif dari para investor dalam negeri dan luar negeri terhadap pengembangan air minum di Indonesia.

Pada akhir 2009, ketercapaian akses air minum aman nasional sebesar 47,71%, dimana akses air minum perkotaan 49,82% dan akses air minum perdesaan 45,72 %. Total cakupan pelayanan air perpipaan secara nasional adalah 25,5%, terdiri dari 43,96% di perkotaan dan 11,54% di perdesaan.

## **BAB VI**

### **SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH**

#### **A. Gambaran Umum**

Tidak bisa dipungkiri bahwa air merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Semua makhluk hidup (manusia, binatang, dan tumbuhan) memerlukan air untuk menopang kehidupannya. Air dapat berfungsi sebagai pelarut, pembersih, dan keperluan lain seperti rumah tangga, industri maupun usaha-usaha lainnya. Pada sektor industri, air dapat digunakan sebagai pendingin mesin, bahan baku maupun pembersih atau penggelontor limbah. Di samping itu, air juga berfungsi untuk sektor pertanian, perkebunan, perikanan, olah raga, rekreasi, *hydrant* dan lain sebagainya.

Dalam dunia kesehatan, khususnya kesehatan lingkungan, air juga bisa dikaitkan sebagai faktor penularan penyebab penyakit (*agent*). Ini bisa terjadi pada saat air membawa penyebab penyakit dari kotoran (feses) penderita, yang kemudian sampai ke tubuh orang lain melalui makanan, susu atau minuman. Air juga berperan untuk membawa penyebab penyakit non mikrobial seperti bahan-bahan *toxic* dan senyawa logam berat yang terkandung dalam air, seperti arsen, besi, kadmium, kromium, merkuri, nikel, seng, tembaga, dan timbal. Penyakit-penyakit infeksi yang biasanya ditularkan melalui air adalah *typhus abdominalis*, *cholera*, *dysentri baciller* dan lain-lain.

Bagi negara-negara maju maupun negara yang sedang berkembang, permasalahan penyediaan air bersih tentunya harus diselesaikan untuk menjamin kesehatan seluruh warganya. Seperti halnya negara-negara berkembang lainnya, Indonesia pun tidak luput

dari permasalahan penyediaan air bersih. Kurang tersedianya sumber air yang bersih menjadi salah satu masalah utama yang dihadapi. Bahkan, sumber air bersih yang ada belum dimanfaatkan secara maksimal terlihat dari belum meratanya pelayanan penyediaan air bersih terutama di daerah pedesaan dan daerah terpencil. Permasalahan lain juga timbul dari kota-kota besar dimana sumber air bersih yang dimanfaatkan PDAM telah tercemari oleh limbah industri dan limbah domestik, sehingga memberikan beban tambahan dalam segi pengelolaan air bersih.

Sebagai solusi dari masalah tersebut dan dalam rangka memenuhi permintaan air bersih yang sesuai standar kesehatan, maka Pemerintah Indonesia mengambil langkah untuk mengoptimalkan sistem pemipaan dan pemanfaatan sumber air yang ada, baik untuk daerah perkotaan (*urban*) maupun daerah pedesaan (*rural urban*).

Berangkat dari hal yang sudah dijelaskan di atas, maka sudah sepatutnya kita semua mencari cara agar kita memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya dari *treatment* yang kita lakukan terhadap air dan menekan kerusakan pada sumber daya air yang sekecil-kecilnya. Dengan demikian, bukan tidak mungkin meratanya pemenuhan penyediaan air bersih yang memenuhi syarat kualitas, kuantitas, kontinuitas dan harga yang terjangkau dapat diwujudkan untuk seluruh masyarakat tanpa terkecuali.

## **B. Definisi dan Persyaratan Air Minum dan Air Bersih**

Berdasarkan PERMENKES RI No.492/MENKES/PER/IV/2010, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung

diminum. Air minum dikatakan aman apabila memenuhi persyaratan fisik, bakteriologis atau mikrobiologis, kimia, dan radioaktif. Pada dasarnya, air tidak ada yang 100% murni, tetapi dalam rangka memenuhi persyaratan tersebut, tentunya harus dilakukan berbagai usaha sehingga syarat yang telah disebutkan sebelumnya dapat terpenuhi, atau setidaknya mendekati syarat- syarat yang dikehendaki. (Partiana, 2015)

Mengacu kepada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/MEN.KES/PER/IX/1990, air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Air bersih harus memenuhi persyaratan bagi sistem penyediaan air minum, dimana persyaratan yang ditekankan dari segi kualitas air yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologis dan radiologis, sehingga apabila dikonsumsi tidak menimbulkan efek samping. Selain kualitas air yang menjadi perhatian, persyaratan air bersih juga harus memperhatikan pengamanan terhadap sistem distribusi air bersih dari tempat instalasi sampai pada konsumen.

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam sistem penyediaan air bersih dan air minum juga diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/MEN.KES/PER/IX/1990. Adapun persyaratan tersebut terdiri dari persyaratan kualitatif, persyaratan kuantitatif, dan persyaratan kontinuitas.

### **1. Persyaratan kualitatif**

Persyaratan kualitatif menggambarkan mutu atau kualitas dari air baku air bersih. Persyaratan ini meliputi persyaratan fisik, kimia, biologis dan radiologis, yang akan dijabarkan sebagai berikut.

- Syarat-syarat fisik

Secara fisik air harus terlihat jernih, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa (tawar). Pertimbangan estetika menjadi penyebab warna termasuk dalam persyaratan air bersih. 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. 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. 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  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

- Syarat-syarat kimia

Air minum yang baik adalah air yang tidak tercemar oleh zat-zat kimia atau mineral secara berlebihan, terutama oleh zat-zat kimia ataupun mineral yang berbahaya bagi kesehatan. Diharapkan zat ataupun bahan kimia yang terkandung dalam air minum tidak sampai merusak bahan tempat penyimpanan air, namun zat ataupun bahan kimia dan mineral yang dibutuhkan oleh tubuh hendaknya harus terdapat dalam kadar yang sewajarnya dalam sumber air minum tersebut. Oleh karena itu, beberapa persyaratan kimia juga diterapkan untuk menjamin keamanan dari air bersih, seperti uraian di bawah ini.

a. pH

pH menjadi salah satu faktor penting bagi air minum, karena berpengaruh terhadap proses korosi yang terjadi pada sistem perpipaan. Nilai pH air murni sendiri adalah sekitar 7 pada suhu 25 °C. Jika pH air menunjukkan angka di bawah 7, maka berarti air tersebut cenderung asam. Sedangkan jika pH air menunjukkan angka di atas 7, maka air cenderung basa. Ketika pH air < 6,5 dan > 9,5 tentunya akan mempercepat terjadinya reaksi korosi pada pipa distribusi air minum. Selain itu, nilai pH yang seimbang juga memberikan pengaruh positif terhadap kesehatan tubuh, di antaranya menjaga keseimbangan keasaman dan alkalinitas tubuh, mempertahankan tingkat elektrolit, serta menjaga kadar pH darah dan aliran oksigen.

b. Zat padat total (*total solid*)

Total solid merupakan bahan yang tertinggal sebagai residu saat penguapan dan pengeringan pada temperatur 103 °C - 105 °C.

c. Zat organik sebagai KMnO<sub>4</sub>

Air yang berbau tidak sedap kemungkinan besar disebabkan oleh adanya bakteri belerang atau hidrogen sulfida. Bakteri ini hidup di lingkungan yang minim oksigen seperti sumur atau pipa air. Bakteri belerang memakan bahan organik yang membusuk, menciptakan gas hidrogen sulfida yang terperangkap di sumber air. Zat organik dalam air dapat berasal dari alam (tumbuhan, alkohol, selulosa, gula dan pati), sintesa (proses-proses industri), dan fermentasi (alkohol, asam, dan akibat kegagalan mikroorganisme). Untuk mengatasi bau

yang muncul, maka kita dapat menggunakan  $\text{KMnO}_4$  (Kalium Permanganat). Larutan  $\text{KMnO}_4$  berfungsi sebagai oksidator kuat yang akan mengoksidasi bahan organik, mudah digunakan dan tidak beracun, sehingga dapat dipakai untuk obat kulit, pembersih air, bahan sintesis senyawa organik, serta pengawet buah. Khusus untuk pengolahan air,  $\text{KMnO}_4$  sudah digunakan secara luas dalam industri pengolahan dan penjernihan air, sebagai bahan kimia untuk menghilangkan zat besi dan hidrogen sulfida yang terkandung dalam air.

d.  $\text{CO}_2$  yang agresif

$\text{CO}_2$  yang terdapat dalam air berasal dari udara dan dari hasil dekomposisi zat organik. Menurut bentuknya  $\text{CO}_2$  dapat dibedakan dalam :

1.  $\text{CO}_2$  bebas : banyaknya  $\text{CO}_2$  yang larut dalam air.
2.  $\text{CO}_2$  kesetimbangan :  $\text{CO}_2$  yang dalam air setimbang dengan  $\text{HCO}_3^-$ .
3.  $\text{CO}_2$  agresif :  $\text{CO}_2$  yang dapat merusak bangunan serta perpipaan dalam distribusi air minum.

e. Kesadahan total (*total hardness*)

Kesadahan adalah sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion positif (kation) logam valensi, misalnya  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{+}$ , dan  $\text{Mn}^{+}$ . Kesadahan total adalah kesadahan yang disebabkan oleh adanya ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  secara bersama-sama. Standar kesadahan air berdasarkan PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang kualitas air minum yaitu maksimum 500 mg/l. Air yang melebihi nilai ambang batas tersebut dapat menyebabkan beberapa masalah kesehatan.

Menurut WHO, dampak yang timbul akibat penggunaan air sadah terhadap kesehatan tubuh adalah penyumbatan pembuluh darah jantung dan batu ginjal. (Qonita, *et al.*, 2019)

f. Kalsium (Ca)

Kandungan kalsium dalam air minum dengan batas-batas tertentu sangat diperlukan dalam tubuh manusia, terutama untuk menunjang pertumbuhan tulang dan gigi. Sedangkan apabila terlalu banyak kalsium yang terkandung dalam darah dapat menimbulkan sejumlah masalah, diantaranya melemahkan tulang, menyebabkan batu ginjal, dan mengganggu cara kerja jantung maupun otak. Nilai Ca yang terlampaui tinggi di dalam air (lebih dari 200 mg/l) juga dapat menyebabkan korosi dalam perpipaan.

g. Besi dan Mangan

Zat-zat lain yang selalu ada dalam air adalah besi dan mangan. Besi merupakan logam yang menghambat proses desinfeksi. Hal ini disebabkan karena daya pengikat klor (DPC) selain digunakan untuk mengikat zat organik, juga digunakan untuk mengikat besi dan mangan, sehingga sisa klor menjadi lebih sedikit dan hal ini memerlukan desinfektan yang semakin besar pada proses pengolahan air. Selain itu besi dan mangan menyebabkan warna air menjadi keruh.

h. Tembaga (Cu)

Tembaga dalam jumlah kecil sangat diperlukan tubuh untuk membentuk sel-sel darah merah, namun akan menyebabkan iritasi lambung akut apabila masuk dalam air minum dengan

konsentrasi 3 mg/l. Dalam dosis rendah menimbulkan rasa kesat, warna dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur (Slamet , 2006).

i. Seng (Zn)

Tembaga dalam jumlah kecil sangat diperlukan tubuh untuk membentuk sel-sel darah merah, namun akan menyebabkan iritasi lambung akut apabila masuk dalam air minum dengan konsentrasi 3 mg/l. Dalam dosis rendah menimbulkan rasa kesat dan pahit, warna dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur (Slamet , 2006).

j. Chlorida (Cl)

Chlorida pada air minum berasal dari sumber-sumber alami, limbah, dan effluen industri. Kadar chlor yang melebihi 250 mg/l akan menyebabkan rasa asin dan korosif pada logam.

k. Nitrit

Air yang terkontaminasi nitrit terlalu banyak bisa menyebabkan methemoglobinemia pada tubuh manusia. Methemoglobinemia merupakan sebuah kondisi kelainan darah akibat kelebihan methemoglobin yang menyebabkan oksigen yang diedarkan ke seluruh tubuh tidak maksimal. Karena kondisi ini, penderitanya mengalami perubahan warna menjadi kebiruan, khususnya pada bagian jari tangan dan area bibir yang tampak kebiruan. Bayi yang berusia di bawah 6 bulan memiliki risiko jauh lebih tinggi dalam mengalami methemoglobinemia. Di dalam sistem pencernaan bayi, terdapat bakteri yang nantinya akan tercampur dengan nitrit

dari air yang dikonsumsi. Faktor inilah yang mampu menyebabkan terjadinya methemoglobinemia.

#### l. Fluorida (F)

Kadar F < 1 mg/l menyebabkan kerusakan gigi atau *carries* gigi. Sebaliknya konsentrasi yang lebih besar dari 1,5 mg/l dapat menyebabkan “fluorosis” pada gigi, yakni terbentuknya noda-noda coklat yang tidak mudah hilang pada gigi.

#### m. Logam-logam berat (Pb, As, Se, Cd, Cr, Hg, CN)

Adanya logam-logam berat dalam air akan menyebabkan gangguan pada jaringan syaraf, pencernaan, metabolisme oksigen, dan kanker.

- Syarat-syarat bakteriologis atau mikrobiologis

Semua air minum hendaknya terhindar dari kontaminasi bakteri yang bersifat patogen, terutama bakteri *coliform* dan *Escherichia coli*. Bakteri *Escherichia coli* menjadi bakteri indikator kualitas air minum karena keberadaannya di dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut terkontaminasi oleh feses manusia atau hewan berdarah panas, yang kemungkinan juga mengandung mikroorganisme enterik patogen lainnya (Maksum Radji, 2010). Bakteri *Escherichia coli* dapat menyebabkan gejala diare, demam, kram perut dan muntah- muntah. Sedangkan semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri *coliform*, semakin tinggi pula resiko kehadiran bakteri-bakteri patogen lain yang biasa hidup dalam kotoran manusia dan hewan. Bakteri *Escherichia coli* dan *coliform* digunakan sebagai syarat bakteriologis, karena pada umumnya bibit penyakit ini relatif lebih sukar dimatikan dengan pemanasan air.

- Syarat-syarat radiologis.

Air minum tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan yang mengandung radioaktif, seperti sinar alfa, beta dan gamma. Apapun bentuk radioaktif efeknya adalah sama, yakni menimbulkan kerusakan pada sel yang terpapar. Kerusakan yang dimaksud dapat berupa kematian, dan perubahan komposisi genetik (Slamet, 2006).

## **2. Persyaratan kuantitatif**

Persyaratan kuantitatif dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari ketersediaan air baku. Air baku yang tersedia harus dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan jumlah penduduk dilayani. Selain itu jumlah air yang dibutuhkan juga tergantung pada tingkat kemajuan teknologi dan sosial ekonomi masyarakatnya. Sebagai contoh, negara-negara yang telah maju memerlukan air bersih yang lebih banyak dibandingkan dengan masyarakat di negara-negara berkembang.

## **3. Persyaratan Kontinuitas**

Persyaratan kontinuitas untuk penyediaan air bersih sangat erat hubungannya dengan kuantitas air baku yang tersedia di alam. Arti kontinuitas disini adalah bahwa air baku untuk air bersih tersebut dapat digunakan terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan.

Menurut PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, persyaratan kualitas air minum harus sesuai dengan parameter wajib (parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan dan parameter yang tidak langsung dengan kesehatan), serta parameter

tambahan (sodium, timbal, pestisida, air raksa, nikel, dan lain sebagainya), seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Persyaratan kualitas air minum sesuai PERMENKES RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010**

**1. Parameter Wajib**

| No | Jenis Parameter  | Satuan                   | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|----|--|--------------------------|-----------------------------------|
| 1  | Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan       |                          |                                   |
|    | a. Parameter Mikrobiologi                                  |                          |                                   |
|    | 1) E.Coli  | Jumlah per 100 ml sampel | 0                                 |
|    | 2) Total Bakteri Koliform                                  | Jumlah per 100 ml sampel | 0                                 |
|    | b. Kimia an-organik  |                          |                                   |
|    | 1) Arsen   | mg/l                     | 0,01                              |
|    | 2) Fluorida  | mg/l                     | 1,5                               |
|    | 3) Total Kromium   | mg/l                     | 0,05                              |
|    | 4) Kadmium   | mg/l                     | 0,003                             |
|    | 5) Nitrit, (Sebagai NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )         | mg/l                     | 3                                 |
|    | 6) Nitrat, (Sebagai NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )         | mg/l                     | 50                                |
|    | 7) Sianida   | mg/l                     | 0,07                              |
|    | 8) Selenium  | mg/l                     | 0,01                              |
| 2  | Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan |                          |                                   |
|    | a. Parameter Fisik   |                          |                                   |
|    | 1) Bau   |                          | Tidak berbau                      |
|    | 2) Warna   | TCU                      | 15                                |
|    | 3) Total zat padat terlarut (TDS)                          | mg/l                     | 500                               |
|    | 4) Kekeruhan   | NTU                      | 5                                 |
|    | 5) Rasa  |                          | Tidak berasa                      |
|    | 6) Suhu  | °C                       | suhu udara ± 3                    |
|    | b. Parameter Kimiawi                                       |                          |                                   |
|    | 1) Aluminium   | mg/l                     | 0,2                               |
|    | 2) Besi  | mg/l                     | 0,3                               |
|    | 3) Kesadahan   | mg/l                     | 500                               |
|    | 4) Klorida   | mg/l                     | 250                               |
|    | 5) Mangan  | mg/l                     | 0,4                               |
|    | 6) pH  |                          | 6,5-8,5                           |
|    | 7) Seng  | mg/l                     | 3                                 |
|    | 8) Sulfat  | mg/l                     | 250                               |
|    | 9) Tembaga   | mg/l                     | 2                                 |
|    | 10) Amonia   | mg/l                     | 1,5                               |

## 2. Parameter Tambahan

| No | Jenis Parameter                        | Satuan | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|----|--|--------|-----------------------------------|
| 1. | KIMIAWI                                |        |                                   |
| a. | Bahan Anorganik                        |        |                                   |
|    | Air Raksa                              | mg/l   | 0,001                             |
|    | Antimon                                | mg/l   | 0,02                              |
|    | Barium                                 | mg/l   | 0,7                               |
|    | Boron                                  | mg/l   | 0,5                               |
|    | Molybdenum                             | mg/l   | 0,07                              |
|    | Nikel                                  | mg/l   | 0,07                              |
|    | Sodium                                 | mg/l   | 200                               |
|    | Timbal                                 | mg/l   | 0,01                              |
|    | Uranium                                | mg/l   | 0,015                             |
| b. | Bahan Organik                          |        |                                   |
|    | Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )       | mg/l   | 10                                |
|    | Deterjen                               | mg/l   | 0,05                              |
|    | Chlorinated alkanes                    |        |                                   |
|    | Carbon tetrachloride                   | mg/l   | 0,004                             |
|    | Dichloromethane                        | mg/l   | 0,02                              |
|    | 1,2-Dichloroethane                     | mg/l   | 0,05                              |
|    | Chlorinated ethenes                    |        |                                   |
|    | 1,2-Dichloroethene                     | mg/l   | 0,05                              |
|    | Trichloroethene                        | mg/l   | 0,02                              |
|    | Tetrachloroethene                      | mg/l   | 0,04                              |
|    | Aromatic hydrocarbons                  |        |                                   |
|    | Benzene                                | mg/l   | 0,01                              |
|    | Toluene                                | mg/l   | 0,7                               |
|    | Xylenes                                | mg/l   | 0,5                               |
|    | Ethylbenzene                           | mg/l   | 0,3                               |
|    | Styrene                                | mg/l   | 0,02                              |
|    | Chlorinated benzenes                   |        |                                   |
|    | 1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB)          | mg/l   | 1                                 |
|    | 1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB)          | mg/l   | 0,3                               |
|    | Lain-lain                              |        |                                   |
|    | Di(2-ethylhexyl)phthalate              | mg/l   | 0,008                             |
|    | Acrylamide                             | mg/l   | 0,0005                            |
|    | Epichlorohydrin                        | mg/l   | 0,0004                            |
|    | Hexachlorobutadiene                    | mg/l   | 0,0006                            |
|    | Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) | mg/l   | 0,6                               |
|    | Nitrilotriacetic acid (NTA)            | mg/l   | 0,2                               |
| c. | Pestisida                              |        |                                   |
|    | Alachlor                               | mg/l   | 0,02                              |
|    | Aldicarb                               | mg/l   | 0,01                              |
|    | Aldrin dan dieldrin                    | mg/l   | 0,00003                           |
|    | Atrazine                               | mg/l   | 0,002                             |
|    | Carbofuran                             | mg/l   | 0,007                             |
|    | Chlordane                              | mg/l   | 0,0002                            |
|    | Chlorotoluron                          | mg/l   | 0,03                              |
|    | DDT                                    | mg/l   | 0,001                             |

| No | Jenis Parameter                                | Satuan | Kadar maksimum yang diperbolehkan |
|----|--|--------|-----------------------------------|
|    | 1,2- Dibromo-3-chloropropane (DBCP)            | mg/l   | 0,001                             |
|    | 2,4 Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)         | mg/l   | 0,03                              |
|    | 1,2-Dichloropropane                            | mg/l   | 0,04                              |
|    | Isoproturon                                    | mg/l   | 0,009                             |
|    | Lindane  | mg/l   | 0,002                             |
|    | MCPA   | mg/l   | 0,002                             |
|    | Methoxychlor                                   | mg/l   | 0,02                              |
|    | Metolachlor                                    | mg/l   | 0,01                              |
|    | Molinate                                       | mg/l   | 0,006                             |
|    | Pendimethalin                                  | mg/l   | 0,02                              |
|    | Pentachlorophenol (PCP)                        | mg/l   | 0,009                             |
|    | Permethrin                                     | mg/l   | 0,3                               |
|    | Simazine                                       | mg/l   | 0,002                             |
|    | Trifluralin                                    | mg/l   | 0,02                              |
|    | Chlorophenoxy herbicides selain 2,4-D dan MCPA |        |                                   |
|    | 2,4-DB   | mg/l   | 0,090                             |
|    | Dichlorprop                                    | mg/l   | 0,10                              |
|    | Fenoprop                                       | mg/l   | 0,009                             |
|    | Mecoprop                                       | mg/l   | 0,001                             |
|    | 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid              | mg/l   | 0,009                             |
|    |  |        |                                   |
| d. | Desinfektan dan Hasil Sampingannya             |        |                                   |
|    | Desinfektan                                    |        |                                   |
|    | Chlorine                                       | mg/l   | 5                                 |
|    | Hasil sampingan                                |        |                                   |
|    | Bromate  | mg/l   | 0,01                              |
|    | Chlorate                                       | mg/l   | 0,7                               |
|    | Chlorite                                       | mg/l   | 0,7                               |
|    | Chlorophenols                                  |        |                                   |
|    | 2,4,6 -Trichlorophenol (2,4,6-TCP)             | mg/l   | 0,2                               |
|    | Bromoform                                      | mg/l   | 0,1                               |
|    | Dibromochloromethane (DBCM)                    | mg/l   | 0,1                               |
|    | Bromodichloromethane (BDCM)                    | mg/l   | 0,06                              |
|    | Chloroform                                     | mg/l   | 0,3                               |
|    | Chlorinated acetic acids                       |        |                                   |
|    | Dichloroacetic acid                            | mg/l   | 0,05                              |
|    | Trichloroacetic acid                           | mg/l   | 0,02                              |
|    | Chloral hydrate                                |        |                                   |
|    | Halogenated acetonitrilies                     |        |                                   |
|    | Dichloroacetonitrile                           | mg/l   | 0,02                              |
|    | Dibromoacetonitrile                            | mg/l   | 0,07                              |
|    | Cyanogen chloride (sebagai CN)                 | mg/l   | 0,07                              |
|    |  |        |                                   |
| 2. | RADIOAKTIFITAS                                 |        |                                   |
|    |  |        |                                   |
|    | Gross alpha activity                           | Bq/l   | 0,1                               |
|    | Gross beta activity                            | Bq/l   | 1                                 |

Selain air minum, persyaratan terkait air bersih juga diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/MEN.KES/PER/IX/1990. Kualitas air harus memenuhi syarat kesehatan yang meliputi persyaratan mikrobiologi, Fisika, kimia, dan radioaktif. Untuk lebih lengkapnya, persyaratan tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8. Persyaratan kualitas air bersih sesuai PERMENKES RI Nomor : 416/MENKES/PER/IX/1990**

| No. | PARAMETER                       | Satuan    | Kadar Maksimum yang diperbolehkan | Keterangan  |
|-----|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|---|
| 1   | 2                               | 3         | 4                                 | 5   |
| A.  | <b>FISIKA</b>                   |           |                                   |   |
| 1.  | Bau                             | -         | -                                 | Tidak berbau  |
| 2.  | Jumlah zat padat terlarut (TDS) | mg/L      | 1.500                             | -   |
| 3.  | Kekeruhan                       | Skala NTU | 25                                | -   |
| 4.  | Rasa                            | -         | -                                 | Tidak berasa  |
| 5.  | Suhu                            | °C        | Suhu udara ± 3°C                  | -   |
| 6.  | Warna                           | Skala TCU | 50                                | -   |
| B.  | <b>KIMIA</b>                    |           |                                   |   |
| 1.  | Air raksa                       | mg/L      | 0,001                             | Merupakan batas minimum dan maksimum, khusus air hujan pH minimum 5,5 |
| 2.  | Arsen                           | mg/L      | 0,05                              |   |
| 3.  | Besi                            | mg/L      | 1,0                               |   |
| 4.  | Fluorida                        | mg/L      | 1,5                               |   |
| 5.  | Kadmium                         | mg/L      | 0,005                             |   |
| 6.  | Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )  | mg/L      | 500                               |   |
| 7.  | Klorida                         | mg/L      | 600                               |   |
| 8.  | Kromium, Valensi 6              | mg/L      | 0,05                              |   |
| 9.  | Mangan                          | mg/L      | 0,5                               |   |
| 10. | Nitrat, sebagai N               | mg/L      | 10                                |   |
| 11. | Nitrit, sebagai N               | mg/L      | 1,0                               |   |
| 12. | pH                              | -         | 6,5 – 9,0                         |   |
| 13. | Selenium                        | mg/L      | 0,01                              |   |
| 14. | Seng                            | mg/L      | 15                                |   |
| 15. | Sianida                         | mg/L      | 0,1                               |   |
| 16. | Sulfat                          | mg/L      | 400                               |   |
| 17. | Timbal                          | mg/L      | 0,05                              |   |
|     | <b>Kimia Organik</b>            |           |                                   |   |
| 1.  | Aldrin dan Dieldrin             | mg/L      | 0,0007                            |   |
| 2.  | Benzena                         | mg/L      | 0,01                              |   |
| 3.  | Benzo (a) pyrene                | mg/L      | 0,00001                           |   |
| 4.  | Chlordane (total isomer)        | mg/L      | 0,007                             |   |
| 5.  | Coloroform                      | mg/L      | 0,03                              |   |
| 6.  | 2,4 D                           | mg/L      | 0,10                              |   |
| 7.  | DDT                             | mg/L      | 0,03                              |   |
| 8.  | Detergen                        | mg/L      | 0,5                               |   |
| 9.  | 1,2 Discloroethane              | mg/L      | 0,01                              |   |
| 10. | 1,1 Discloroethene              | mg/L      | 0,0003                            |   |

| No. | PARAMETER                              | Satuan            | Kadar Maksimum yang diperbolehkan | Keterangan          |
|-----|--|-------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 1   | 2                                      | 3                 | 4                                 | 5                   |
| 11. | Heptaclor dan heptaclor epoxide        | mg/L              | 0,003                             |                     |
| 12. | Hexachlorobenzene                      | mg/L              | 0,00001                           |                     |
| 13. | Gamma-HCH (Lindane)                    | mg/L              | 0,004                             |                     |
| 14. | Methoxychlor                           | mg/L              | 0,10                              |                     |
| 15. | Pentachlorophanol                      | mg/L              | 0,01                              |                     |
| 16. | Pestisida Total                        | mg/L              | 0,10                              |                     |
| 17. | 2,4,6 urichlorophenol                  | mg/L              | 0,01                              |                     |
| 18. | Zat organik (KMnO4)                    | mg/L              | 10                                |                     |
| C.  | <u>Mikro biologik</u>                  |                   |                                   |                     |
|     | Total koliform (MPN)                   | Jumlah per 100 ml | 50                                | Bukan air perpipaan |
|     |  | Jumlah per 100 ml | 10                                | Air perpipaan       |
| D.  | <u>Radio Aktivitas</u>                 |                   |                                   |                     |
| 1.  | Aktivitas Alpha (Gross Alpha Activity) | Bq/L              | 0,1                               |                     |
| 2.  | Aktivitas Beta (Gross Beta Activity)   | Bq/L              | 1,0                               |                     |

Keterangan :

mg = miligram

ml = mililiter

L = liter

Bq = Bequerel

NTU = Nephelometrik Turbidity Units

TCU = True Colour Units

Logam berat merupakan logam terlarut

## C. Sumber Air Bersih

Dalam memilih sumber air bersih, maka harus diperhatikan persyaratan utamanya yang meliputi kualitas, kuantitas, kontinuitas dan biaya yang murah dalam proses pengambilan sampai pada proses pengolahannya. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001, sumber air dibagi menjadi 4 kelompok, yakni air permukaan, air tanah, air hujan dan mata air.

### 1. Air permukaan

Menurut Soegianto (2005), air permukaan adalah air yang berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan tanah, sebagian menguap dan sebagian lainnya mengalir ke sungai, saluran air lalu disimpan di dalam danau, waduk dan rawa. Air permukaan

merupakan air hujan yang mengalir di atas permukaan bumi. Selama pengalirannya, air permukaan mendapat pengotoran dari lumpur, batang kayu, daun-daun, dan sebagainya (Lathifah, 2017). Untuk mengenal karakteristik air baku permukaan maka air ini digolongkan menjadi 6, yaitu;

- Air permukaan dengan tingkat kekeruhan yang tinggi
- Air permukaan dengan tingkat kekeruhan yang rendah
- Air permukaan dengan tingkat kekeruhan yang sifatnya temporer
- Air permukaan dengan kandungan warna yang sedang sampai tinggi
- Air permukaan dengan kesadahan yang tinggi.
- Air permukaan dengan tingkat kekeruhan sangat rendah

Air permukaan yang biasanya dimanfaatkan sebagai sumber atau bahan baku air bersih adalah :

- Air waduk (berasal dari air hujan)
- Air sungai (berasal dari air hujan dan mata air)
- Air danau (berasal dari air hujan, mata air, dan atau air sungai)

Air permukaan memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dikonsumsi oleh masyarakat. Hal ini dikarenakan air permukaan biasanya telah terpapar dengan berbagai zat pencemar (kontaminan) yang berbahaya bagi kesehatan. Kontaminan atau zat pencemar ini berasal dari limbah domestik, limbah industri dan limbah pertanian. Zat-zat pencemar tersebut antara lain *Total Suspended Solid* (TSS), yang berpengaruh pada kekeruhan, zat-zat organik sebagai  $\text{KMnO}_4$ , serta logam berat dari air limbah industri.

Kualitas air permukaan secara nasional telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Kualitas badan air tergantung dari karakteristik dan kuantitas air yang masuk ke dalamnya. Oleh karena itu, limbah cair yang masuk ke perairan juga perlu diatur dalam peraturan perundang-undangan, sehingga tidak memperburuk kualitas air permukaan. Dilihat dari kontinuitas dan kuantitasnya, air permukaan tidak mengalami masalah berarti untuk dijadikan sumber air baku untuk penyediaan air bersih. Oleh karena itu, air permukaan merupakan sumber terbesar untuk air bersih.

## **2. Air tanah**

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 mengenai Sumber Daya Air, air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di lapisan batuan di bawah permukaan tanah. Menurut Asdak (2002), air tanah merupakan segala bentuk aliran air hujan yang mengalir dibawah permukaan tanah sebagai akibat dari gaya gravitasi bumi, struktur perlapisan geologi, dan beda potensi kelembaban tanah. Air bawah permukaan inilah yang kemudian dikenal sebagai air tanah.

Menurut Kodoatie (2012), air yang berasal dari dalam tanah bermanfaat sebagai sumber air bagi seluruh makhluk hidup. Selain itu, air juga berperan sebagai bagian utama dari siklus hidrologi. Air tanah dimanfaatkan oleh manusia untuk keperluan minum, sanitasi, dan lain sebagainya. Tak hanya pada manusia, seluruh hewan juga membutuhkan air untuk minum dan bertahan hidup, terlebih pada hewan-hewan akuatik yang hidup di air, seperti sungai, danau, dan lautan. Tumbuhan sendiri memanfaatkan air tanah yang diserap

melalui akar untuk memperoleh unsur hara guna mendukung proses fotosintesis.

Air tanah kemudian dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu air tanah yang berdasarkan letaknya di permukaan tanah dan darimana air tanah tersebut berasal. Untuk lebih jelasnya, klasifikasi air tanah dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9. Klasifikasi air tanah**

| Klasifikasi  | Jenis  | Definisi   |
|--|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>Berdasarkan letaknya</b></p> | <p style="text-align: center;">Air Tanah Freatik</p>         | <p>Air tanah pada permukaan dangkal letaknya tidak jauh dari permukaan tanah dan berada di atas lapisan kedap air, contohnya air sumur. Air tanah dangkal kualitasnya lebih rendah dibandingkan kualitas air tanah dalam. Hal ini disebabkan karena air tanah dangkal lebih mudah mendapat kontaminasi dari luar dan fungsi tanah sebagai penyaring lebih sedikit.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Air Tanah Dalam (Artesis)</p> | <p>Air tanah yang terletak di antara lapisan akuifer dan batuan kedap air, contohnya sumur artesis. Air tanah dalam dapat ditemukan pada</p>   |

|                                |                            |   |
|--------------------------------|----------------------------|---|
|                                |                            | kedalaman 30 -80 meter dari permukaan tanah. Air tanah ini juga dapat diminum atau dikonsumsi secara langsung karena sudah mengalami penyaringan secara sempurna dan terbebas dari kuman ataupun bakteri.   |
| <b>Berdasarkan<br/>asalnya</b> | Air Tanah Meteorit (Vados) | Air tanah yang berasal dari proses presipitasi (hujan) awan yang tercampur dengan debu meteorit dan kemudian mengalami kondensasi. Air Vados mengandung air berat (H3) dan terdapat tritium (suatu unsur yang berasal dari debu meteor) sehingga sering disebut dengan air tua. |
|                                | Air Tanah Magma (Juvenil)  | Air tanah yang berasal dari dalam bumi karena tekanan intrusi magma, contohnya pada geyser atau sumber air panas. Karena terletak di dekat gunung berapi, maka terkadang air juvenil juga mengandung kadar belerang   |

|  |           |   |
|--|-----------|---|
|  |           | yang tinggi, jika selama pembentukannya melewati batuan belerang/sulfur.  |
|  | Air Konat | Air tanah yang terjebak didalam batuan selama ribuan tahun hingga jutaan tahun sehingga sering disebut dengan air purba. Umumnya memiliki kadar garam yang lebih tinggi dibandingkan air laut dan tercampur dengan senyawa/mineral dari batuan yang melingkupinya dalam waktu lama. |

Air tanah banyak mengandung garam dan mineral yang terlarut pada waktu air melalui lapisan-lapisan tanah. Secara praktis air tanah adalah bebas dari polutan karena berada di bawah permukaan tanah. Tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa air tanah dapat tercemar oleh zat-zat yang mengganggu kesehatan seperti kandungan Fe, Mn, dan kesadahan yang terbawa oleh aliran permukaan tanah.

Dari segi kuantitas, pemakaian air tanah sebagai sumber air baku air bersih relatif mencukupi. Namun apabila dilihat dari segi kontinuitasnya, pengambilan air tanah harus dibatasi, karena dikhawatirkan dengan pengambilan yang terus menerus berlangsung akan menyebabkan penurunan muka air tanah. Mengingat air di

alam merupakan perputaran siklus hidrologi yang panjang, maka apabila terjadi penurunan muka air tanah, kemungkinan kekosongannya akan diisi oleh air laut. Peristiwa ini disebut intrusi air laut. Kondisi ini telah banyak dijumpai khususnya di daerah-daerah pesisir pantai atau laut seperti Jakarta dan Surabaya.

### 3. Air hujan

Selain salju dan es, air hujan juga termasuk ke dalam golongan air angkasa. Air angkasa sendiri merupakan air yang asalnya dari udara atau atmosfer yang jatuh ke permukaan bumi. Komposisi air yang terdapat di lapisan udara bumi berkisar 0.001 % dari total air yang ada di bumi. Ditinjau dari kualitasnya, air hujan memiliki beberapa sifat antara lain :

- Air hujan pada umumnya bersifat lebih bersih.
- Sifatnya lunak karena tidak mengandung larutan garam dan zat-zat mineral.
- Dapat bersifat korosif karena mengandung zat-zat yang terdapat di udara seperti  $\text{NH}_3$  ,  $\text{CO}_2$  agresif, ataupun  $\text{SO}_2$ . Adanya konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang tinggi di udara yang bercampur dengan air hujan akan menyebabkan terjadinya hujan asam (*acid rain*).

Dari segi kuantitas, air hujan sangat bergantung kepada intensitas curah hujan. Oleh karena itu, apabila dimanfaatkan untuk persediaan air umum, air hujan tidak akan mencukupi karena jumlahnya yang berfluktuasi. Begitu pula bila dilihat dari segi kontinuitasnya, air hujan tidak dapat diambil secara terus menerus, karena tergantung pada musim, terutama pada musim kemarau yang kemungkinan volume air akan menurun karena tidak ada penambahan air hujan.

#### 4. Mata Air

Menurut Tolman (1937), mata air (*spring*) adalah pemusatan keluarnya air tanah yang muncul di permukaan tanah sebagai arus dari aliran air tanah. Jadi, mata air sebenarnya merupakan air tanah yang berada di bawah permukaan tanah, tepatnya pada batuan yang bersifat jenuh air atau akuifer. Adanya proses geologi di dalam tanah menjadi faktor pendorong, sehingga air tanah muncul di atas permukaan tanah. Air yang muncul itulah kemudian dikenal sebagai mata air.

Bryan (1919) mengklasifikasikan mata air berdasarkan tenaga atau pengaruh gravitasi terhadap keluarnya air tanah ke permukaan bumi. Penggolongan tersebut menghasilkan dua garis besar mata air, antara lain:

- Mata air dari tenaga non gravitasi (*non gravitational spring*)

Mata air yang berasal dari tenaga non gravitasi artinya tidak dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. *Non gravitational spring* juga dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu mata air vulkanik (*volcanic springs*) yang muncul akibat kontur pada bentangan vulkanik, mata air celah (*fissure springs*) yang biasanya keluar melalui celah-celah batu yang retak, mata air hangat (*ordinary springs*) yang memiliki suhu sama dengan suhu rata-rata pada lingkungan sekitarnya, dan mata air panas (*thermal springs*) yang suhunya 6°C-10°C lebih tinggi dibandingkan suhu rata-rata pada lingkungan sekitarnya..

- Mata air dari tenaga gravitasi (*gravitational spring*)

Mata air dari tenaga gravitasi atau *gravitational spring* adalah mata air yang muncul berada dalam kondisi tidak tertekan,

tetapi air tersebut muncul akibat topografi yang memotong aliran air. Mata air jenis ini umumnya mempunyai arah pancuran horizontal. Mata air gravitasi dibedakan lagi menjadi beberapa tipe, yaitu mata air depresi (*depression spring*) yang terbentuk bila permukaan air tanah terpotong topografi, mata air kontak (*contact spring*) yang terjadi bila lapisan yang tidak kedap air terletak di atas lapisan kedap air, mata air artesis (*artesian spring*) yang terbentuk pada saat air yang berada di dalam lapisan akuifer mengalami tekanan, dan mata air turbuler (*turbulence spring*) yang terdapat pada saluran-saluran alami pada formasi kulit bumi, seperti gua lava atau *joint*.

Dari segi kualitas, mata air sangat baik bila dipakai sebagai air baku, karena berasal dari dalam tanah yang muncul ke permukaan tanah akibat tekanan, sehingga belum terkontaminasi oleh zat-zat pencemar. Namun dilihat dari segi kuantitas dan kontinuitasnya, jumlah dan kapasitas mata air tentunya sangat terbatas, sehingga hanya mampu memenuhi kebutuhan sejumlah penduduk tertentu. Begitu pula bila mata air tersebut terus-menerus dimanfaatkan akan habis dan terpaksa penduduk mencari sumber mata air yang baru.

Secara singkat, perbedaan sumber air baku air bersih dapat dilihat dalam Tabel 10.

**Tabel 10. Klasifikasi sumber air baku air bersih**

| Sumber    | Kualitas                                | Kuantitas                       | Kontinuitas                       | Harga |
|-----------|---|---------------------------------|-----------------------------------|-------|
| Air hujan | Sedikit terpolusi oleh polutan pencemar | Tidak memenuhi untuk persediaan | Tidak dapat terus menerus diambil | Murah |

|                           | udara                      | umum          |  |               |
|---------------------------|----------------------------|---------------|--|---------------|
| Air permukaan             | Tidak baik karena tercemar | Mencukupi     | Dapat diambil terus menerus                      | Relatif mahal |
| Air tanah dangkal (<10 m) | Terpolusi                  | Relatif cukup | Pengambilan dibatasi, berakibat intrusi air laut | Relatif murah |
| Air tanah dalam (>60 m)   | Relatif baik               |               |  | Relatif mahal |
| Mata air                  | Relatif baik               | Sedikit       | Tidak dapat diambil secara terus menerus         | Murah         |

#### D. Sistem Pelayanan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu komponen dalam sistem penyediaan air bersih, serta bentuk dan teknik dari sistem penyediaan air bersih. Komponen dalam sistem penyediaan air bersih dapat dibagi menjadi tiga komponen utama (Chatib, 1996), antara lain:

1. Sistem sumber (dengan atau tanpa bangunan pengolahan air bersih). Sumber dapat terdiri dari sumber dan sistem pengambilan/ pengumpulan (*collection works*) saja atau dapat pula dilengkapi dengan sistem pengolahan air (*purification / treatment works*). Sumber-sumber yang dapat digunakan seperti air permukaan, air tanah, air laut, dan air hujan.
2. Sistem transmisi. Dimulai dari sistem pengumpulan sampai bangunan pengolahan air bersih atau dimulai dari bangunan

pengolahan air bersih sampai *reservoir* (tempat penampungan). Cara pengangkutannya bisa dengan cara gravitasi atau pemompaan dan kapasitas yang akan diangkut.

3. Sistem distribusi, yaitu sistem penyaluran air bersih dari *reservoir* sampai ke daerah-daerah pelayanannya.

Sedangkan dilihat dari bentuk dan tekniknya, sistem penyediaan air minum dapat dibedakan menjadi dua sistem berikut (Chatib, 1996)

- 1. Penyediaan air minum individual (*individual water supply system*).**

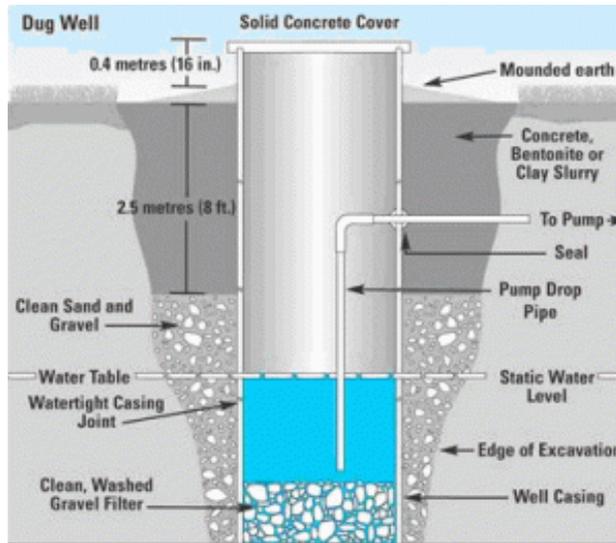
Sistem ini ditujukan untuk penggunaan individual dan pelayanan yang terbatas. Sumber air yang digunakan umumnya berasal dari air tanah. Sistem bentuk ini pada umumnya sangat sederhana, biasanya tidak memiliki komponen transmisi dan distribusi. Beberapa sarana penyediaan air bersih secara individual adalah sebagai berikut :

- i. Sumur

Sumur dapat dibedakan menjadi 4 jenis, antara lain:

- Sumur gali (*dug well*)

Sumur ini dibuat dengan penggalian tanah sampai kedalaman tertentu (maksimum 2 meter), umumnya tidak terlalu dalam sehingga hanya mencapai air tanah di lapisan atas. Sumur gali secara kuantitatif sulit untuk dijamin kontinuitasnya, karena air pada sumur ini cenderung berkurang volumenya pada musim kemarau.

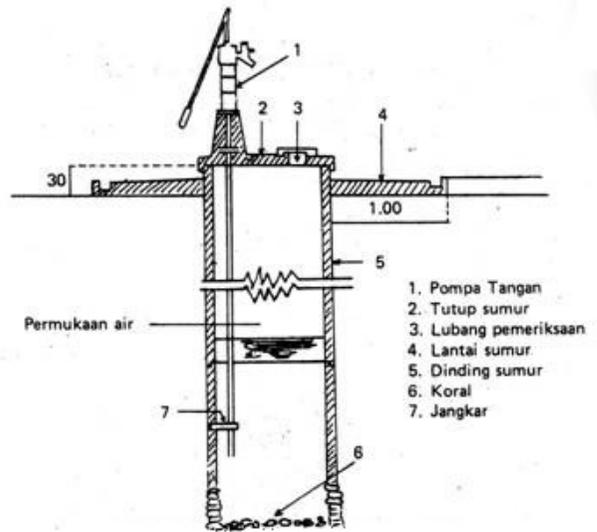


Gambar 36. Konstruksi sumur gali

Sumber: <http://staypublichealth.blogspot.com/>

- Sumur pompa tangan dalam (*drilled well*) dan pompa tangan dangkal

Sumur pompa tangan dalam (*drilled well*) dibuat dengan kedalaman pipa 30 meter dan kedalaman muka air  $> 7$  meter. Sedangkan sumur pompa tangan dangkal dibuat dengan kedalaman pipa maksimum 18 meter dan kedalaman muka air  $< 7$  meter. Sumur pompa tangan dapat dipergunakan untuk melayani kebutuhan beberapa keluarga.

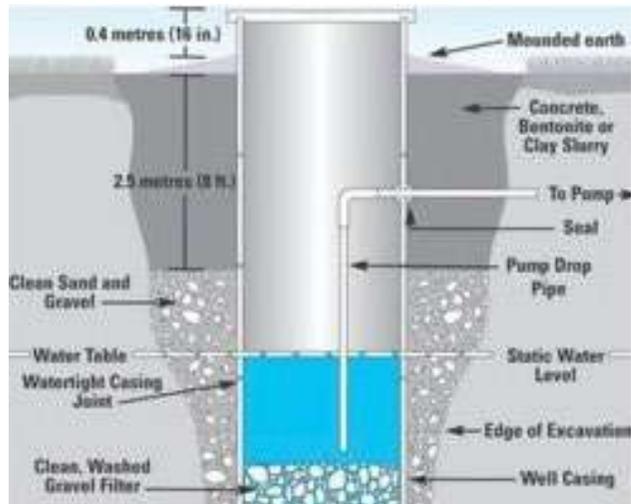


Gambar 37. Konstruksi sumur pompa tangan

Sumber: <http://www.indonesian-publichealth.com>

- Sumur bor (*bored well*)

Sumur bor adalah sumur yang dibuat dengan bantuan proses pengeboran. Kedalaman minimum 100 meter.

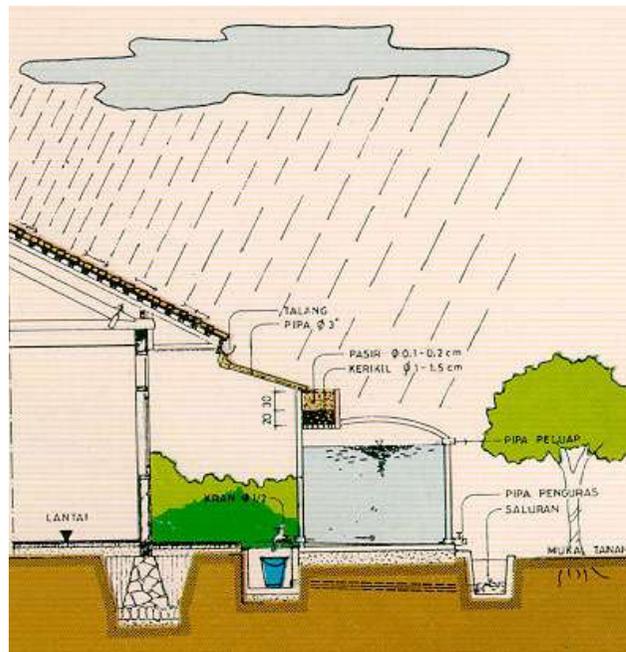


Gambar 38. Konstruksi sumur bor

Sumber: <https://www.canadianhomeinspection.com>

## ii. Sistem Pemanfaatan Air Hujan (SPAHA)

Di beberapa daerah yang memiliki curah hujan tinggi, kebanyakan air hujan tersebut terbuang mengalir begitu saja ke sungai. Bahkan tidak sedikit daerah yang mengalami banjir akibat intensitas hujan yang tinggi. Dalam rangka penyediaan air bersih di daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi, dapat dikembangkan Sistem Pemanfaatan Air Hujan (SPAHA) yang layak dikonsumsi oleh individu maupun kelompok masyarakat (komunal). Lokasi tempat PAH dipilih pada daerah kritis dengan curah hujan minimal 1.300 mm per tahun.



Gambar 39. Konstruksi SPAHA

Sumber: <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/>

Sistem Pemanfaatan Air Hujan (SPAHA) terdiri atas sistem Penampungan Air Hujan (PAH) dan sistem pengolahan air hujan. PAH dilengkapi dengan talang air, saringan pasir, bak

penampung dan Sumur Resapan (Sures). Sumur resapan dapat digunakan untuk melestarikan air tanah dan mengurangi resiko genangan air hujan atau banjir yang dilakukan dengan membuat sumur yang menampung dan meresapkan curahan air hujan.

Komponen bak PAH dapat terbuat dari bahan ferro semen, pasangan bata, dan *fibreglass reinforced plastic* (FRP). Sedangkan komponen media penyaring dapat menggunakan:

- a. Pasir dengan ketebalan (300-400) mm, ukuran diameter efektif (0,30-1,20) mm, koefisien keseragaman (1,2-1,4) mm, dan porositas 0,4.
- b. Kerikil dengan ketebalan 200-350 mm dan diameter (10-40) mm.

## **2. Penyediaan air minum komunal (*community water supply system*)**

Sistem ini mempunyai komponen yang lengkap dan kompleks dari segi dan sifat pelayanannya. Sistem ini dilengkapi dengan transmisi dan distribusi agar air yang dihasilkan dapat menjangkau daerah pelayanannya. Penyediaan air bersih komunal dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa pilihan sumber air baku seperti mata air, air tanah, air permukaan, dan air hujan, namun pemilihan air baku tersebut akan tergantung pada kuantitas, kualitas, dan kontinuitas dari air baku (Dirjen Cipta Karya, 2009).

Beberapa contoh sistem penyediaan air bersih secara komunal adalah sebagai berikut :

- i. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)

PDAM merupakan organisasi pengelola air pada daerah tingkat II yang melayani air melalui sistem perpipaan yang telah mengalami pengolahan dan didistribusikan pada masyarakat yang berminat dan mampu membayar sambungan.

ii. Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A)

Menurut Pramulia (2014), Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) adalah kelembagaan yang ditumbuhkan oleh petani yang mendapat manfaat secara langsung dari pengelolaan air pada jaringan irigasi, air permukaan, embung/dam parit dan air tanah, termasuk kelembagaan kelompok tani ternak, perkebunan, dan hortikultura yang memanfaatkan air irigasi/air tanah dangkal/air permukaan dan air hasil konservasi/embung. Melalui Inpres No. 3 Tahun 1999, Pemerintah membuat kebijakan terkait pembaharuan pengelolaan irigasi dengan menyerahkan tugas, tanggung jawab dan kewenangan pengelolaan irigasi kepada P3A sebagai upaya pemberdayaan P3A dalam pelaksanaan operasional dan pemeliharaan (OP) dan keberlanjutan irigasi.



Gambar 40. Kegiatan P3A Desa Pungut Tengah, Jambi

Sumber: <https://explorenews.net/>

iii. Pembangunan hidran umum, kran umum, dan terminal air

Program pembangunan hidran umum, kran umum, dan terminal air bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya lonjakan harga air bersih di masyarakat dan juga untuk mengatasi krisis air yang terjadi di daerah-daerah kumuh dan terpencil.

Adapun perbedaan dari ketiga jenis pelayanan ini dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11. Perbedaan hidran umum, kran umum, dan terminal air**

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| Hidran umum |   | Sarana pelayanan air bersih/minum yang digunakan secara komunal, terdiri dari tangki penampung air berupa hidran yang penyediaan airnya dialirkan melalui pipa distribusi.  |
| Kran umum   |  | Sarana air bersih/air minum yang dibuat dengan penampungan dan Kran Pengambilan Air. Kran Umum dapat dipasang sebagai unit pelayanan secara kelompok dengan sumber air dari mata air yang dialirkan secara gravitasi atau dari air tanah yang diambil dengan menggunakan pompa. |

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| <p>Terminal<br/>Air</p> |  | <p>Sarana pelayanan air minum yang digunakan secara komunal, berupa bak penampung air yang ditempatkan di atas permukaan tanah atau pondasi dan pengisian air dilakukan dengan sistem curah dari mobil tangki air atau kapal tangki air.</p> |
|-------------------------|---|--|

#### iv. Perlindungan Mata Air (PMA)

Perlindungan Mata Air (PMA) merupakan sistem penyediaan air bersih dengan memanfaatkan sumber mata air. Selain itu, PMA juga salah satu upaya dalam menjaga sumber air baku untuk air minum agar tidak mengalami perubahan kuantitas maupun kualitas air dari mata airnya. Cakupan pelayanan maksimum PMA adalah 500 jiwa. Umumnya PMA digunakan untuk wilayah atau daerah pedesaan dimana masih dijumpai adanya sumber mata air di daerah tersebut.



Gambar 41. Kolam sumber mata air, Sulawesi Tengah

Sumber: <https://www.republika.co.id/>

## **E. Kebutuhan air bersih**

Tidak bisa dipungkiri bahwa air merupakan kebutuhan primer pada berbagai aktivitas seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Manusia memerlukan air untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti minum, memasak, mencuci, mandi, dan sanitasi. Pemanfaatan air dalam skala besar juga dilakukan dalam memenuhi kegiatan perekonomian dan sosial seperti industri, rumah sakit, rumah ibadah, perhotelan, perdagangan, perkantoran, dan pendidikan. Jumlah kebutuhan air bersih berbeda-beda untuk masing-masing kegiatan tersebut, dan persyaratan mutunya bergantung pada jenis aktivitas yang bersangkutan.

Pada bagian ini, akan dibahas kebutuhan air bersih, mulai dari ragam kebutuhan air bersih, penentuan kebutuhan air bersih, penentuan fluktuasi debit air yang dibutuhkan, hingga perhitungan kebutuhan air bersih.

### **1. Ragam kebutuhan air bersih**

Kebutuhan air adalah sejumlah air yang digunakan untuk berbagai peruntukkan atau kegiatan masyarakat dalam wilayah tersebut. Dalam kasus ini kebutuhan air yang diperhitungkan yaitu kebutuhan air untuk kegiatan rumah tangga (domestik), fasilitas umum meliputi perkantoran, pendidikan (non domestik), irigasi, peternakan, industri, serta untuk pemeliharaan / penggelontoran sungai. Kebutuhan air bersih di kategorikan menjadi :

#### **i. Kebutuhan domestik**

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air bersih untuk pemenuhan kegiatan sehari-hari atau rumah tangga

seperti untuk minum, memasak, sanitasi, menyiram tanaman, serta pengangkutan air buangan (buangan dapur dan toilet).

Perkiraan jumlah kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk, tingkat pertumbuhan penduduk, dan kebutuhan air per kapita. Kebutuhan air per kapita dipengaruhi oleh aktivitas fisik dan kebiasaan atau tingkat kesejahteraan. Oleh karena itu, dalam memperkirakan besarnya kebutuhan air domestik perlu dibedakan antara kebutuhan air untuk penduduk daerah perkotaan (*urban*) maupun daerah pedesaan (*rural urban*). Perbedaan kebutuhan air ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa penduduk di perkotaan cenderung memanfaatkan air lebih banyak bila dibandingkan penduduk di pedesaan. Tabel 12 menyajikan standar kebutuhan air domestik menurut peraturan dari Departemen Cipta Karya.

**Tabel 12. Standar kebutuhan air domestik**

| Uraian  | Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk<br>(Jiwa) |                             |                           |                          |         |
|---|---|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------|
|   | >1.000.000  | 500.000<br>s/d<br>1.000.000 | 100.000<br>s/d<br>500.000 | 20.000<br>s/d<br>100.000 | <20.000 |
|   | Kota Metropolitan                                   | Kota Besar                  | Kota Sedang               | Kota Kecil               | Desa    |
| 1   | 2   | 3                           | 4                         | 5                        | 6       |
| Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (liter/orang/hari) | 190   | 170                         | 130                       | 100                      | 80      |

|   |                        |                           |         |         |         |
|---|------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|
| Konsumsi Unit Hidran (HU) (liter/orang/hari)  | 30                     | 30                        | 30      | 30      | 30      |
| Konsumsi Unit Non Domestik (liter/orang/hari) | 20-30                  | 20-31                     | 20-32   | 20-33   | 20-34   |
| Kehilangan Air (%)                            | 20-30                  | 20-30                     | 20-30   | 20-30   | 20-30   |
| Faktor Hari Maksimum                          | 1,1                    | 1,1                       | 1,1     | 1,1     | 1,1     |
| Faktor Jam Puncak                             | 1,5                    | 1,5                       | 1,5     | 1,5     | 1,5     |
| Jumlah Jiwa per SR (jiwa)                     | 5                      | 5                         | 5       | 5       | 5       |
| Jumlah Jiwa per HU (jiwa)                     | 100                    | 100                       | 100     | 100-200 | 200     |
| Sisa Tekan di Penyediaan Distribusi (Meter)   | 10                     | 10                        | 10      | 10      | 10      |
| Jam Operasi (jam)                             | 24                     | 24                        | 24      | 24      | 24      |
| Volume Reservoir (%) Max Day Demand)          | 15-25                  | 15-25                     | 15-25   | 15-25   | 15-25   |
| SR:HU   | 50 : 50<br>s/d 80 : 20 | 50 : 50<br>s/d<br>80 : 20 | 80 : 20 | 70 : 30 | 70 : 30 |
| Cakupan Wilayah Pelayanan (%)                 | 90                     | 90                        | 90      | 90      | 70      |

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996

## ii. Kebutuhan non domestik

Kebutuhan dasar air non domestik merupakan kebutuhan air bagi penduduk di luar lingkungan perumahan. Kebutuhan air bersih ini ditentukan banyaknya konsumen non domestik yang meliputi kebutuhan institusional (perkantoran dan sekolah), komersial (hotel, pasar, pertokoan/mall, restoran), fasilitas umum (tempat-tempat ibadah, rekreasi, bandara, terminal, maupun stasiun) dan industri (pendingin, air pada boiler untuk pemanas, serta bahan baku proses).

Banyaknya fasilitas yang ada di suatu perkotaan akan mempengaruhi besarnya kebutuhan air di perkotaan tersebut. Kebutuhan ini sangat dipengaruhi oleh tingkat dinamika kota dan jenjang suatu kota. Oleh karena itu, dalam memprediksi kebutuhan air non domestik suatu kota maka diperlukan data-data lengkap tentang fasilitas pendukung kota tersebut.

Analisis sektor non domestik dilaksanakan dengan berpegangan pada analisis data pertumbuhan terakhir fasilitas-fasilitas sosial ekonomi yang ada pada wilayah perencanaan. Kebutuhan air non domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori, yaitu kota kategori I (metropolitan), kota kategori II (kota besar), kota kategori III (kota sedang), kota kategori IV (kota kecil), dan kota kategori V (desa). Kebutuhan air non domestik menurut kriteria perencanaan pada Dinas PU dapat dilihat dalam Tabel 13 sampai Tabel 15.

**Tabel 13. Kebutuhan air non domestik untuk kategori I, II, III, IV**

| SEKTOR             | NILAI     | SATUAN                  |
|--------------------|-----------|-------------------------|
| Sekolah            | 10        | Liter/murid/hari        |
| Rumah Sakit        | 200       | Liter/bed/hari          |
| Puskesmas          | 2000      | Liter/unit/hari         |
| Masjid             | 3000      | Liter/unit/hari         |
| Kantor             | 10        | Liter/pegawai/hari      |
| Pasar              | 12000     | Liter/hektar/hari       |
| Hotel              | 150       | Liter/bed/hari          |
| Rumah Makan        | 100       | Liter/tempat duduk/hari |
| Komplek Militer    | 60        | Liter/orang/hari        |
| Kawasan Industri   | 0,2 – 0,8 | Liter/detik/hektar      |
| Kawasan Pariwisata | 0,1 – 0,3 | Liter/detik/hektar      |

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996

**Tabel 14. Kebutuhan air non domestik untuk kategori V (desa)**

| SEKTOR             | NILAI | SATUAN            |
|--------------------|-------|-------------------|
| Sekolah            | 5     | Liter/murid/hari  |
| Rumah Sakit        | 200   | Liter/bed/hari    |
| Puskesmas          | 1200  | Liter/unit/hari   |
| Masjid             | 3000  | Liter/unit/hari   |
| Mushola            | 2000  | Liter/unit/hari   |
| Pasar              | 12000 | Liter/hektar/hari |
| Komersial/Industri | 10    | Liter/hari        |

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996

**Tabel 15 . Kebutuhan air non domestik kategori lain**

| <b>SEKTOR</b>               | <b>NILAI</b> | <b>SATUAN</b>      |
|-----------------------------|--------------|--------------------|
| Lapangan Terbang            | 10           | Liter/orang/detik  |
| Pelabuhan                   | 50           | Liter/orang/detik  |
| Stasiun KA dan Terminal Bus | 10           | Liter/orang/detik  |
| Kawasan Industri            | 0,75         | Liter/detik/hektar |

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996

Dengan demikian kita perlu mengetahui jenis dan jumlah sarana yang akan datang atau dengan kata lain kita perlu mengetahui:

- Jenis dan jumlah sarana yang ada saat ini. Data ini diperlukan sebagai dasar untuk menghitung perkiraan jenis dan jumlah sarana pada masa yang akan datang.
- Perkiraan perkembangan jenis dan jumlah sarana pada masa yang akan datang.

## **2. Penentuan kebutuhan air bersih**

Dari tahun ke tahun, jumlah kebutuhan air bersih untuk tiap orang akan semakin meningkat. Pemakaian air bersih oleh masyarakat bertambah besar seiring dengan kemajuan yang terjadi pada masyarakat tersebut. Peningkatan pemakaian air bersih ini disebabkan beberapa hal, antara lain:

- Tingginya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya peran air bersih untuk kesehatan.
- Pemakaian air yang semakin beragam, misalnya untuk mencuci mobil, mesin pendingin udara dan sebagainya.

Sedangkan kebutuhan air untuk pemakaian non domestik antara lain dipengaruhi oleh jenis sarana yang membutuhkan air. Sebagai contoh kebutuhan air untuk rumah sakit tentunya berbeda dengan kebutuhan air untuk perkantoran. Selain itu, kebutuhan air pada tiap jenis sarana juga tidak selalu sama, misalnya kebutuhan rumah sakit kelas A akan berbeda dengan kebutuhan rumah sakit kelas C.

Prediksi jumlah penduduk di masa akan datang sangat penting dalam memprediksi jumlah kebutuhan air bersih, karena peningkatan populasi penduduk dari masa ke masa akan meningkatkan kebutuhan air bersih di masa yang akan datang. Untuk itu perlu dilakukan proyeksi penduduk untuk tahun perencanaan. Ada beberapa metode proyeksi penduduk yang dapat digunakan untuk perencanaan, di antaranya:

a. Metode rata-rata aritmatika

Metode ini sesuai untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang selalu meningkat/bertambah secara konstan. Persamaan untuk metode aritmatika adalah:

$$P_n = P_0 + (a \cdot n)$$

dimana,

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk pada awal tahun dasar (jiwa)

$a$  = rata-rata pertambahan penduduk (jiwa/tahun)

$n$  = kurun waktu proyeksi (tahun)

b. Metode geometrik

Metode ini menunjukkan bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda seiring pertambahan penduduk. Metode ini banyak dipakai karena mudah dan mendekati kebenaran.

Persamaan untuk metode geometri adalah:

$$P_n = P_0 + (1 + r)^n$$

dimana,

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk pada awal tahun dasar (jiwa)

$r$  = rata-rata pertambahan penduduk (%)

$n$  = selisih antara tahun proyeksi dengan tahun dasar  
(tahun)

c. Metode *least square*

Metoda ini juga dapat digunakan untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang mempunyai kecenderungan garis linear meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah.

Persamaan untuk metode geometri adalah:

$$P_n = a + b \cdot x$$

$$a = \frac{\sum P \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum P \cdot x^2}{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum P \cdot x - \sum x \cdot \sum P}{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

dimana,

$P_n$  = jumlah penduduk waktu  $n$  tahun mendatang (jiwa)

$a, b$  = konstanta

$x$  = pertambahan tahun

$N$  = jumlah data

Pada umumnya kebutuhan air di masyarakat tidaklah konstan, tetapi berfluktuasi dengan adanya perubahan musim dan aktivitas masyarakat. Pada hari-hari tertentu akan terjadi pemakaian air yang lebih besar dari pada kebutuhan rata-rata per hari. Pemakaian air

tersebut disebut “pemakaian hari maksimum”. Begitu pula pada saat jam-jam tertentu, pemakaian air akan meningkat lebih besar dari pada kebutuhan air rata-rata per hari. Pemakaian air tersebut disebut “pemakaian jam puncak”. Besarnya pemakaian air hari maksimum dan jam puncak dapat ditentukan dengan mengalikan pemakaian air dari rata-rata per hari dengan faktor pemakai hari maksimum dan jam puncak.

Untuk mendapatkan data fluktuasi pemakaian air per jam secara tepat untuk keperluan perencanaan bangunan pengolahan air bersih, maka cara yang ditempuh umumnya adalah dengan membandingkan daerah yang direncanakan dengan daerah yang telah direncanakan (telah mempunyai data fluktuasi pemakaian air per jam). Tentunya dalam hal ini dicari kota-kota yang sedikit mungkin berbeda kondisinya (aktivitas masyarakatnya). Semakin banyak penduduk dan aktivitas yang dilayani, maka semakin kecil faktor hari maksimum atau jam puncaknya, karena aktivitas penduduk yang sepanjang hari akan cenderung membutuhkan air bersih mendekati rata-rata.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kebutuhan air bersih akan digunakan untuk perhitungan kapasitas pengolahan, kapasitas distribusi dan kapasitas produksi. Untuk mengetahui kebutuhan hari maksimum dan kebutuhan jam puncak adalah nilai faktor hari maksimum dan faktor jam maksimum. Nilai faktor hari maksimum ( $F_1$ ) umumnya adalah 1 sampai dengan 1,5. Sedangkan faktor jam puncak ( $F_2$ ) umumnya adalah 1,5 sampai dengan 2,5. Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa debit (kapasitas) pengolahan bisa berbentuk :

- $Q$  hari maksimum, untuk perencanaan distribusi

- Q rata-rata, untuk perencanaan distribusi
- Q jam puncak, untuk perencanaan distribusi

Dalam menghitung kapasitas produksi, maka selain kapasitas pengolahan (akibat sebagai kebutuhan air minum) perlu juga diperhitungkan hal-hal lain yang mempengaruhi, yaitu :

- Kebutuhan air untuk instalasi, misalnya untuk pencucian filter (*backwashing*), melarutkan bahan kimia, keperluan kantor dan lain-lain. Umumnya kebutuhan air untuk instalasi ini sekitar 10% dari kapasitas pengolahan.
- Kehilangan air di sistem distribusi. Misalnya pada saat pemasangan, penggantian dan penambahan pipa distribusi, kebocoran teknis (sambungan liar dan lain-lain), keperluan pemadam kebakaran, menyiram tanaman dan lain-lain. Umumnya kehilangan air ini sekitar 30% dari kapasitas pengolahan. Dengan mengetahui kapasitas pengolahan kebutuhan air untuk instalasi dan kehilangan air, maka dapat dihitung kapasitas produksi (debit) yang diperlukan.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan proyeksi penduduk dan kebutuhan air bersih:

Jumlah penduduk kota A adalah 100.000 pada tahun 2014. Tingkat pertumbuhan penduduk dalam setiap tahun dalam 10 tahun terakhir rata-rata 1%. Hitung kapasitas pengolahan, kapasitas distribusi, dan kapasitas produksi jika direncanakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih sampai tahun 2024.

**Jawab :**

a) Asumsi :

- Kebutuhan air bersih  
rata-rata/orang/hari = 100 liter
- Faktor hari  
maksimum = 1,5
- Faktor jam puncak  
= 1,75

b) Proyeksi jumlah penduduk tahun 2015 (misal dengan metode geometrik)

$$P_t = P_o + (1 + r)^n$$

$$P_t = 100000 + (1 + 0,01)^{10}$$

$$P_t = 110463 \text{ jiwa}$$

c) Kebutuhan air bersih = jumlah penduduk  
× kebutuhan air rata-rata

$$= 110463 \text{ jiwa} \times 100 \text{ liter/orang/hari}$$

$$= 11046300 \text{ liter/hari}$$

$$= 127,85 \text{ liter/detik}$$

d) Kapasitas pengolahan (kebutuhan hari  
maksimum) :

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan air bersih} \times \text{faktor hari maksimum} \\ &= 127,85 \text{ liter/detik} \times 1,5 \\ &= 191,775 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

e) Kapasitas distribusi (kebutuhan jam puncak) :

$$\begin{aligned} & \text{Kebutuhan air bersih} \times \text{faktor jam puncak} \\ &= 127,85 \text{ liter/detik} \times 1,75 \\ &= 223,74 \text{ liter/detik} \end{aligned}$$

## **BAB VII**

### **SISTEM TRANSMISI DAN DISTRIBUSI AIR BERSIH**

#### **A. Gambaran Umum**

Sistem transmisi air bersih adalah rangkaian perpipaan yang mengalirkan air dari sumber air baku ke unit pengolahan dan membawa air yang sudah diolah dari IPA ke reservoir distribusi. Fungsi dari saluran transmisi adalah untuk membawa air baku dari bangunan pengambilan air baku ke unit produksi, atau membawa air hasil olahan unit produksi ke reservoir. Saluran transmisi terbagi dalam dua jenis aliran, yaitu saluran transmisi untuk aliran bebas/tidak bertekanan, dan saluran transmisi untuk aliran bertekanan (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2010).

Sedangkan sistem distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari unit produksi (reservoir) ke daerah pelayanan (konsumen). Jaringan distribusi menggunakan pipa dengan aliran yang bertekanan, dimana di sepanjang perpipaannya dihubungkan dengan sambungan pelanggan. Jenis sambungan pelanggan dapat berupa Sambungan Rumah (SR), sambungan Hidran Umum (HU) maupun sambungan untuk pelanggan usaha komersial. Jalur pipa distribusi biasanya ditanam mengikuti jalur jalan yang ada. (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2010).

#### **B. Bangunan pengambilan dan sistem transmisi air bersih**

##### **1. *Intake***

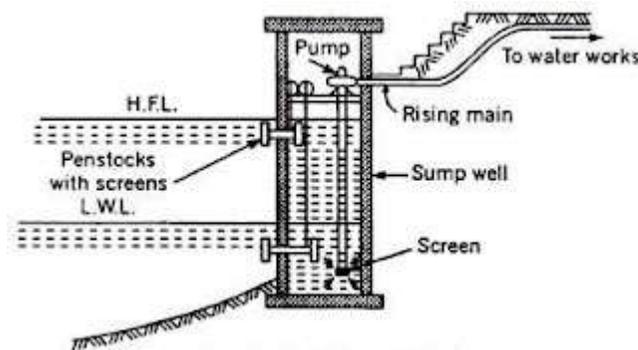
Bangunan pengambilan air baku untuk penyediaan air bersih disebut dengan bangunan penangkap air atau *intake*.

Kapasitas *intake* ini dibuat sesuai dengan debit yang diperlukan untuk pengolahan. Bangunan *intake* mempunyai fungsi utama sebagai penangkap air dari sumber air untuk diolah dalam instalasi pengolahan air bersih. Ditinjau dari air baku yang akan diambil maka *intake* dibedakan menjadi:

a. Air baku dari air permukaan

f) *River intake*

Merupakan *intake* untuk menyadap air baku yang berasal dari sungai atau danau.



Gambar 42. *River intake*

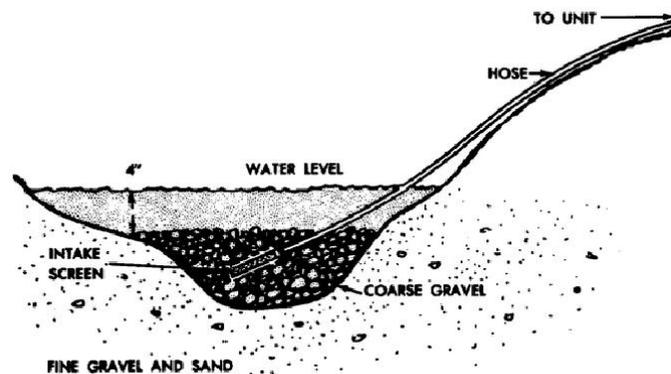
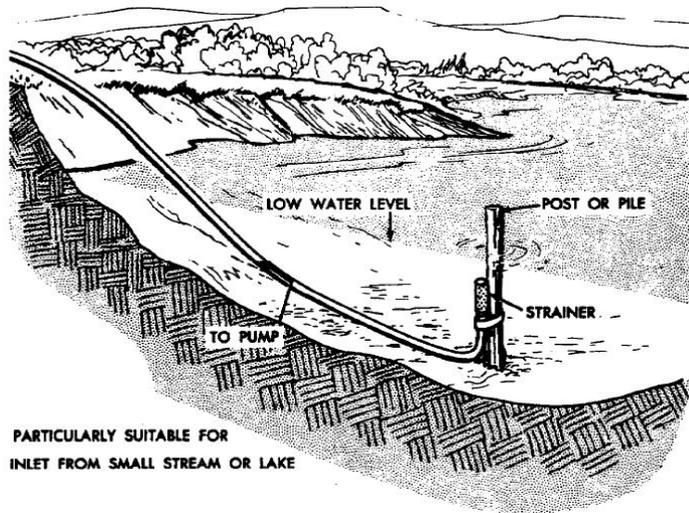
(Sumber: <https://mjcetpc506ce.blogspot.com/>)

g) *Direct intake*

*Direct intake* dipakai bila permukaan air dari air baku sangat dalam. Bentuk ini lebih mahal bila dibandingkan dengan tipe lainnya. Tipe *intake* ini dapat dipakai dalam kondisi:

a. Sumber air dalam, misal sungai dan danau.

b. Tanggul sangat resisten terhadap erosi dan sedimentasi.

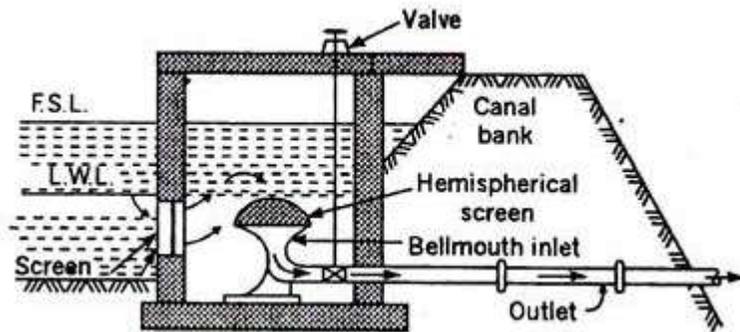


Gambar 43. *Direct intake* dengan saluran di bagian bawah sumber air

(Sumber: <https://armyengineer.tpub.com/>)

#### h) *Canal Intake*

Tipe ini dipakai apabila air baku disadap dari kanal. Canal intake terdiri dari suatu bak yang memiliki bukaan dan dibangun pada satu sisi dari tanggul kanal, yang dilengkapi dengan saringan kasar. Air dialirkan dari bak melalui pipa yang memiliki ujung berbentuk *bell mouth* yang tertutup saringan berbentuk parabola.

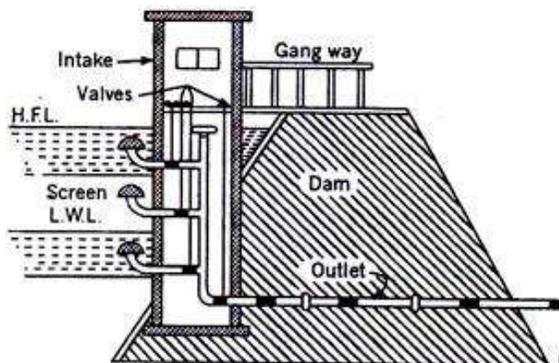


Gambar 44. *Canal intake*

(Sumber: <https://mjcetpc506ce.blogspot.com/>)

i) *Reservoir intake* (dam)

Digunakan untuk air baku yang diambil dari danau, baik yang alamiah atau buatan (beton). Bangunan ini dilengkapi dengan beberapa *inlet* dengan ketinggian yang bervariasi untuk mengatasi adanya fluktuasi muka air. Dapat juga dibuat menara *intake* yang terpisah dengan dam pada bagian *upstream*. Jika air di reservoir dapat mengalir secara gravitasi ke pengolahan, maka tidak diperlukan pemompaan dari menara.



Gambar 45. *Reservoir intake*

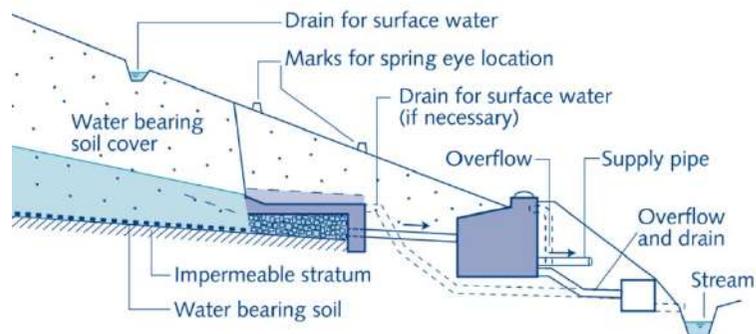
(Sumber: <https://mjcetpc506ce.blogspot.com/>)

b. Air baku dari mata air

Air baku dari mata air dapat dibedakan menjadi dua, antara lain:

j) *Spring intake (bround captering)*

Digunakan untuk air yang diambil dari mata air. Dalam pengumpulan mata air, hendaknya dijaga supaya kondisi tanah tidak terganggu.



Gambar 46 Area pengumpulan mata air (*gravity spring*)

(Sumber: <https://sswm.info/>)

k) Sistem transmisi air bersih

Sistem transmisi air bersih adalah sistem perpipaan dari bangunan pengambilan air baku ke bangunan pengolahan air bersih. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan sistem transmisi adalah:

1) Jaringan transmisi

Tipe pengaliran jaringan pipa transmisi meliputi sistem pemompaan, sistem gravitasi, dan sistem gabungan (pemompaan dan gravitasi). Sistem pemompaan diterapkan pada kondisi dimana letak dari bangunan *intake* lebih rendah dari bangunan pengolahan.

Sebaliknya sistem gravitasi diterapkan pada kondisi dimana elevasi letak bangunan penangkap air relatif tinggi atau sama dengan bangunan pengolahan air. Sistem gabungan diterapkan pada kondisi topografi bangunan *intake* ke bangunan pengolahan yang tidak stabil (naik turun).



Gambar 47. Pompa pada SPAM Regional Kabupaten Gianyar, Bali

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

## 2) Bak pelepas tekan

Penggunaan bak pelepas tekan dengan tujuan untuk menghindari tekanan yang tinggi pada perpipaan, sehingga tidak akan merusak sistem perpipaan yang ada. Bak ini dibuat di tempat dimana tekanan tertinggi mungkin terjadi atau pada stasiun penguat (*booster pump*) sepanjang jalur pipa transmisi.

## 3) Panjang dan diameter pipa

Penentuan panjang pipa berdasarkan perhitungan jarak dari bangunan penangkap air ke bangunan pengolahan, sedangkan penentuan diameter pipa disesuaikan

dengan debit harian maksimum.

#### 4) Jalur pipa

Pembangunan jalur pipa sebaiknya mengikuti jalan raya dan dipilih jalur yang tidak memerlukan banyak perlengkapan. Adapun perlengkapan yang ada pada sistem transmisi pipa air bersih antara lain *wash out* (penggelontor sedimen yang ada pada pipa), *air valve* (berfungsi untuk mengurangi tekanan pada pipa), *blow off* (katup pembuangan tekanan udara lebih), *gate valve* (pengatur debit aliran), serta pompa.



Gambar 48. Air valve pada IPA Kab. Tangerang, Banten

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

### C. Proses pengolahan air bersih

Proses pengolahan air bersih tergantung dari kualitas sumber daya air yang digunakan sebagai air baku dan kualitas air minum yang diinginkan. Klasifikasi pengolahan air bersih tertuang dalam Tabel 16.

**Tabel 16. Klasifikasi pengolahan air bersih**

| Klasifikasi            | Golongan  | Definisi   |
|------------------------|---|--|
| Berdasarkan prinsipnya | Pengolahan fisik                                | Pengolahan yang berfungsi untuk menurunkan parameter-parameter fisik, seperti kekeruhan, <i>total dissolved solid</i> , warna dan bau. |
|                        | Pengolahan kimiawi                              | Pengolahan yang berfungsi untuk menurunkan parameter-parameter kimiawi, seperti kesadahan, nitrat, magnesium, Mn, Fe dan lain-lain.    |
|                        | Pengolahan biologis                             | Pengolahan yang berfungsi untuk menurunkan parameter-parameter biologis, seperti bakteri E. Coli dan Coli tinja.                       |
| Berdasarkan jenisnya   | Pengolahan permukaan (pengolahan lengkap)       | Sistem pengolahan yang melibatkan pengolahan fisik-kimia dan biologis.   |
|                        | Pengolahan air tanah (pengolahan tidak lengkap) | Sistem pengolahan yang hanya melibatkan salah satu atau dua diantara proses pengolahan fisik, kimia dan biologis.                      |

Pada umumnya, kita dapat membedakan proses pengolahan air bersih berdasarkan pengolahan permukaan (pengolahan lengkap) dan pengolahan air tanah (pengolahan tak lengkap), yang akan dijelaskan lebih lengkap dalam uraian berikut ini.

1) Pengolahan air permukaan

Proses pengolahan air permukaan (misalnya sungai) adalah

proses pengolahan lengkap. Adapun bangunan pengolahan yang diperlukan untuk proses pengolahan ini meliputi :

a) Bangunan penangkap air (*intake*)

Bangunan ini berfungsi untuk menangkap air dari badan air (sungai) sesuai dengan debit yang diperlukan bagi pengolahan air bersih.



Gambar 49. *Intake* pada SPAM IKK Kab. Bangka Tengah, Bangka Belitung

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

b) Bangunan penenang dan bak pembagi

Berfungsi untuk menenangkan air baku jika digunakan pemompaan pada bangunan sadap (*intake*). Sedangkan bak pembagi berfungsi untuk membagikan air jika digunakan lebih dari 1 unit bangunan pengolahan (paralel).

c) Bangunan prasedimentasi

Berfungsi sebagai tempat proses pengendapan partikel diskrit seperti pasir, lempung dan zat-zat padat lainnya yang bisa mengendap secara gravitasi.



Gambar 50. Bak prasedimentasi pada SPAM Regional Kabupaten Gianyar, Bali

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

d) Bangunan pengaduk cepat (*rapid mixing*)

Berfungsi sebagai tempat proses pencampuran koagulan dengan air baku sehingga terjadi proses koagulasi. Proses koagulasi dimaksudkan untuk melarutkan bahan kimia atau koagulan, membuat campuran menjadi homogen, serta mendorong terbentuknya partikel yang berbentuk flok.



Gambar 51. Koagulator pada SPAM Regional Kabupaten Gianyar, Bali

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

e) Bangunan pengaduk lambat (*slow mixing*)

Berfungsi sebagai tempat proses terbentuknya flokulen, dan

prosesnya disebut sebagai proses flokulasi. Pada bak pengaduk lambat, flokulen yang telah terbentuk pada bak pengaduk cepat akan bergabung membentuk flokulen yang lebih besar dan akhirnya mengendap secara gravitasi.



Gambar 52. Bak flokulasi pada SPAM Regional Kabupaten Gianyar, Bali

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

f) Bangunan sedimentasi

Berfungsi sebagai tempat proses mengendapnya partikel-partikel flokulen dari bak flokulasi.



Gambar 53. Bak sedimentasi pada SPAM IKK Kab. Madiun, Jawa Timur

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

g) Bangunan filtrasi

Berfungsi sebagai tempat proses penyaringan butir-butir

yang tidak ikut terendap pada bak sedimentasi dan juga berfungsi sebagai penyaring mikroorganisme/bakteri yang ikut larut dalam air.



Gambar 54. Filtrasi pada SPAM IKK Kab. Bengkalis, Riau

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

Beberapa jenis filtrasi adalah sebagai berikut:

- *Rapid sand filter*, yang menggunakan media pasir (*single media*), antrasit dan pasir yang terpisah (*dual media*) serta pasir dan antrasit yang bercampur (*mixed media*).
- *Slow sand filter*, yang digunakan untuk pengolahan air tanpa melalui unit koagulasi, flokulasi dan sedimentasi.
- *Pressure filtration*, yang dilakukan untuk air baku air tanah. Pompa distribusi yang memompa air dari filter akan menyebabkan berkurangnya tekanan pada filter sehingga air bisa mengalir ke filter. Keuntungan penggunaan jenis filtrasi ini adalah menghemat pemompaan ganda.
- *Direct filtration*, yang digunakan untuk pengolahan air baku dengan kadar kekeruhan yang rendah, misal air baku dari instalasi pengolahan air buangan.

h) Unit pembubuhan bahan kimia

Berfungsi untuk tempat melarutkan bahan-bahan kimia dan membubuhkannya ke bangunan pengolahan. Salah satu tugas dari unit ini adalah berfungsi sebagai bak pembubuhan desinfektan yaitu chlor sebagai kaporit  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ . Selain membunuh mikroorganisme patogen, desinfektan juga bermanfaat sebagai pengoksidasi zat organik, mengurangi bau, serta mencegah berkembangbiaknya bakteri. Pemilihan chlor sebagai desinfektan adalah karena mudah didapatkan dan mudah dalam penanganannya, biaya investasi dan pengoperasiannya mudah, serta lebih aman. Selain chlor yang dipakai sebagai desinfeksi, ada beberapa jenis desinfeksi yang sering dilakukan yaitu :

- Pemanasan, biasanya dilakukan terbatas pada skala kecil, yaitu rumah tangga.
- Sinar ultra violet, tidak sempurna, karena timbul endapan.
- Getaran ultrasonic.
- Ozon, tidak bersifat karsinogenik, tetapi harganya mahal.



Gambar 55. Tangki bahan kimia pada SPAM IKK Kabupaten Pacitan, Jawa Timur

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)



Gambar 56. Pompa dosing pada IPA Kab. Tangerang, Banten

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)



Gambar 57. Injektor bahan kimia pada SPAM IKK Kab. Tulang Bawang, Lampung

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

i) Bangunan reservoir

Berfungsi untuk tempat penampungan air bersih sebelum didistribusikan dan tempat penampungan air bersih untuk instalasi.



Gambar 58. Reservoir pada SPAM Regional Kab. Bandung, Jawa Barat

(Sumber: Prasarana dan Sarana Air Minum, 2015)

## 2) Pengolahan air tanah

Proses pengolahan air baku air tanah adalah proses yang tidak selengkap pengolahan air permukaan. Beberapa proses pengolahan yang tidak lengkap adalah proses pengolahan untuk menghilangkan kesadahan dengan penambahan kapur dan soda, sehingga bangunan yang diperlukan adalah bak pengaduk cepat, flokulator, bak pengendap di samping bak rekarbonisasi untuk penambahan  $\text{CO}_2$  dan seterusnya. Beberapa alternatif proses pengolahan dengan air baku air tanah adalah sebagai berikut:

- Air tanah yang sifatnya aerobik

Untuk air tanah yang sifatnya aerobik, kualitas atau kandungan bahan-bahan kimia yang ditemui, masih memenuhi persyaratan, tetapi sedikit bersifat asam sehingga diperlukan pengolahan terhadap kadar pH agar pH menjadi naik.

- Air tanah yang sifatnya anaerobik

Biasanya banyak mengandung unsur-unsur besi, mangan,

amonia, dan H<sub>2</sub>S. Sistem yang sesuai adalah aerasi, yang berfungsi untuk mendapatkan oksigen, menghilangkan H<sub>2</sub>S dan CH<sub>4</sub>, serta mereduksi konsentrasi CO<sub>2</sub>.

#### **D. Sistem distribusi air bersih**

##### **1. Definisi sistem distribusi air bersih**

Sistem distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari bangunan pengolahan (reservoir) ke daerah pelayanan (konsumen). Dalam perencanaan sistem distribusi air bersih, beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain:

- a. Daerah layanan dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Daerah layanan ini meliputi wilayah IKK (Ibukota Kecamatan) atau wilayah Kabupaten/Kotamadya. Jumlah penduduk yang dilayani tergantung pada kebutuhan, kemauan/minat, serta kemampuan atau tingkat sosial ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, dalam satu daerah layanan belum tentu semua penduduk terlayani.
- b. Selanjutnya adalah kebutuhan air. Kebutuhan air merupakan debit air yang harus disediakan untuk distribusi daerah pelayanan.
- c. Letak topografi daerah layanan, yang akan menentukan sistem jaringan dan pola aliran yang sesuai.
- d. Jenis sambungan sistem, yang dalam sistem distribusi air bersih dibedakan menjadi :
  - Sambungan halaman, yaitu sambungan pipa distribusi dari pipa induk/pipa utama ke masing-masing rumah atau

halaman.

- Sambungan rumah, yaitu sambungan pipa distribusi dari pipa induk/pipa utama ke masing-masing utilitas rumah tangga.
- Hidran umum, yaitu pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada suatu daerah tertentu untuk melayani 100 orang dalam setiap hidran umum.
- Terminal air, yaitu distribusi air melalui pengiriman tangki-tangki air yang diberikan pada daerah-daerah kumuh, daerah terpencil atau daerah yang krisis air bersih.
- Kran umum, yaitu pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada kelompok masyarakat tertentu, yang mempunyai minat tetapi kurang mampu dalam membiayai penyambungan pipa ke masing-masing rumah. Biasanya 1 kran umum dipakai untuk melayani kurang lebih 20 orang.

## **2. Pipa distribusi**

Pipa distribusi adalah pipa yang membawa air ke konsumen yang terdiri dari :

- a. Pipa induk, yaitu pipa utama pembawa air yang akan dibagikan kepada konsumen.
- b. Pipa cabang, yaitu pipa cabang dari pipa induk.
- c. Pipa dinas, yaitu pipa pembawa air yang langsung melayani konsumen.

## **3. Tipe pengaliran**

Tipe pengaliran sistem distribusi air bersih meliputi aliran gravitasi dan aliran secara pemompaan. Tipe pengaliran secara

gravitasi diterapkan bila tekanan air pada titik terjauh yang diterima konsumen masih mencukupi. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, maka pengaliran harus menggunakan sistem pemompaan.

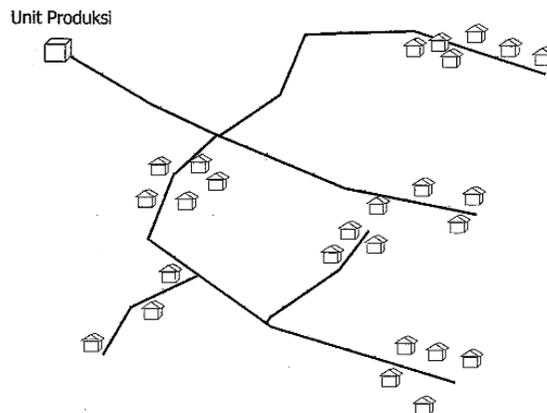
#### 4. Pola jaringan

Berbagai pola jaringan sistem distribusi air bersih meliputi :

##### a. Sistem cabang (*branch system*)

Merupakan sistem jaringan perpipaan distribusi, dimana pengaliran air hanya menuju ke satu arah saja dan terdapat titik akhir yang merupakan ujung pipa. Sistem ini biasanya digunakan pada daerah dengan sifat-sifat sebagai berikut :

- Perkembangan kota dengan arah memanjang.
- Sarana jaringan jalan tidak saling berhubungan.
- Keadaan topografi dengan kemiringan medan yang menuju satu arah.



Gambar 59. Jaringan pipa distribusi sistem cabang

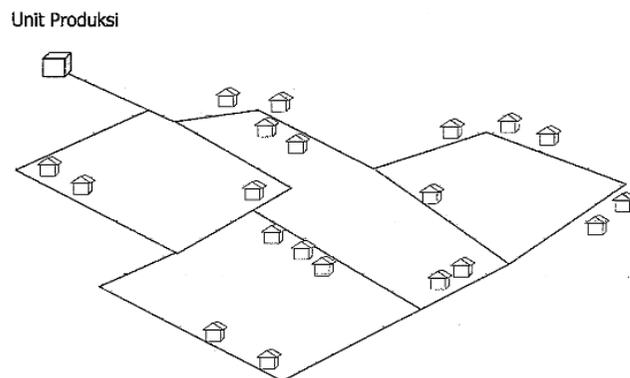
(Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan)

Sistem cabang adalah sistem jaringan perpipaan distribusi yang terbuka. Sistem ini biasanya digunakan pada

wilayah perdesaan dimana besar wilayah pelayanan tidak terlalu luas. Perhitungan hidrolis pada sistem cabang ini cukup sederhana yaitu setiap jalur pipa dihitung secara terpisah.

b. Sistem melingkar (*loop system*)

Jaringan perpipaan distribusi sistem *loop* biasanya digunakan di wilayah perkotaan dimana besar wilayah pelayanannya sangat luas. Perhitungan hidrolis sistem *loop* ini lebih sulit dibandingkan dengan sistem *branched* karena perlu menghitung kesetimbangan aliran pada masing-masing jalur pipa di jaringan loopnya. Keunggulan dari jaringan perpipaan transmisi dengan sistem *loop* adalah dapat memberikan pelayanan yang stabil baik dari segi jumlah air yang disalurkan maupun besar tekanan ke seluruh wilayah pelayanan. Pada sistem ini jaringan pipa induk saling berhubungan satu dengan yang lain membentuk lingkaran-lingkaran, sehingga pada pipa induk tidak ada titik mati.



Gambar 60. Jaringan pipa distribusi sistem cabang  
(Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan)

Sistem *loop* ini biasanya diterapkan pada :

- Daerah dengan jaringan jalan yang saling berhubungan.
- Daerah yang perkembangan kota cenderung ke segala arah.
- Keadaan topografi yang relatif datar.

Masing-masing pola jaringan di atas memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penerapannya, seperti yang dapat dilihat dalam Tabel 17 berikut.

**Tabel 17. Keuntungan dan kerugian sistem cabang dan sistem melingkar**

| Pola jaringan  | Keuntungan   |
|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>Sistem cabang<br/>(<i>branch system</i>)</b></p> | <p><b>Keuntungan :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Jaringan distribusi relatif lebih sederhana, sederhana yang dimaksudkan disini adalah perhitungan dimensi pipa yang dipakai.</li> <li>b) Pemasangan pipa lebih mudah.</li> <li>c) Penggunaan pipa lebih sedikit, karena pipa distribusinya hanya dipasang pada daerah yang paling padat penduduknya.</li> <li>d) Tekanan air bersih relatif lebih tinggi.</li> </ol> <p><b>Kerugian :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Kemungkinan terjadi penimbunan kotoran dan pengendapan di ujung pipa tidak dapat dihindari. Sehingga diperlukan pembersihan intensif.</li> <li>b) Bila terjadi kerusakan atau perbaikan pada suatu bagian sistem maka akan mengganggu distribusi untuk bagian yang lain.</li> </ol> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>c) Kemungkinan tekanan air yang diperlukan tidak cukup jika ada sambungan baru.</p> <p>d) Keseimbangan pengaliran air dalam pipa kurang terjamin, terutama terjadinya tekanan kritis pada bagian pipa yang terjauh.</p>  |
| <p><b>Sistem melingkar (loop system)</b></p> | <p><b>Keuntungan :</b></p> <p>a) Kemungkinan terjadinya penimbunan kotoran dan pengendapan lumpur dapat dihindari (air dapat disirkulasi dengan bebas).</p> <p>b) Keseimbangan pengaliran air mudah tercapai, distribusi merata.</p> <p>c) Jika ada kerusakan pada suatu bagian sistem, maka distribusi air untuk bagian lain tidak terganggu karena disuplai dari bagian lain.</p> <p><b>Kerugian :</b></p> <p>a) Sistem perpipaan rumit dan kompleks.</p> <p>b) Perlengkapan pipa yang digunakan sangat banyak jumlah dan macamnya.</p> <p>c) Tekanan air relatif rendah dan fluktuatif.</p> <p>d) Rumit dalam perhitungan.</p> |

Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan

## 5. Perlengkapan sistem distribusi air bersih

Berbagai perlengkapan dalam sistem distribusi air bersih meliputi :

### a. *Reservoir*

Reservoir merupakan tempat penampungan air bersih pada sistem penyediaan air bersih. Umumnya reservoir ini diperlukan pada suatu sistem penyediaan air bersih yang

melayani suatu kota. Jenis reservoir dapat dibagi berdasarkan bentuk, fungsi maupun tinggi reservoir terhadap permukaan tanah sekitarnya, serta berdasarkan dari bahan konstruksinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 18.

**Tabel 18. Klasifikasi reservoir**

| Klasifikasi   | Penjelasan  |
|---|---|
| <p><b>Tinggi reservoir terhadap permukaan tanah</b></p> | <div style="text-align: center;"> </div> <p><b>Reservoir Permukaan (<i>Ground Reservoir</i>)</b><br/> Merupakan reservoir yang sebagian besar atau seluruh reservoir terletak di bawah permukaan tanah.</p> |
|   | <div style="text-align: center;"> </div> <p><b>Reservoir Menara (<i>Elevated Reservoir</i>)</b><br/> Merupakan reservoir yang seluruh bagian penampungan</p>  |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
|                                | <p>dari reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan tanah sekitarnya.</p>  |
| <p><b>Bahan konstruksi</b></p> | <div data-bbox="584 330 949 571" data-label="Image"> </div> <p><b>Reservoir Tanki Baja</b></p> <p>Merupakan reservoir yang yang dikonstruksi dari bahan baja yang dibaut atau dilas. Kelemahan konstruksi ini beresiko terhadap terjadinya korosi serta mudah menyerap panas. Biasanya tangki baja jauh lebih murah dari tangki beton.</p> |
|                                | <div data-bbox="600 890 934 1097" data-label="Image"> </div> <p><b>Reservoir Beton Cor</b></p> <p>Merupakan reservoir yang yang dikonstruksi dari bahan beton cor. Kelebihan dari menggunakan beton cor adalah kedap air dan tidak mudah bocor. Sedangkan kelemahannya adalah biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi.</p>              |
|                                | <div data-bbox="596 1418 937 1669" data-label="Image"> </div>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p><b>Reservoir Pasangan Bata</b></p> <p>Merupakan reservoir yang yang dikonstruksi dari bahan bata merah. Kelebihan dari menggunakan material ini adalah kekuatan, kekokohan, material yang mudah didapatkan, serta tahan lama sehingga jarang sekali terjadi keretakan dinding. Kekurangannya adalah sulitnya membuat pasangan bata yang rapi sehingga membutuhkan plesteran yang cukup tebal.</p> |
|  | <div data-bbox="642 627 891 942" data-label="Image"> </div> <p><b>Reservoir Fiberglass</b></p> <p>Penggunaan fiberglass memiliki beberapa kelebihan seperti ringan, tekstur dinding tangki kaku dan terlihat kuat. Sedangkan kekurangannya antara lain rentan terhadap benturan dan dinding tangki mudah retak, tidak tahan terhadap UV dan oksidasi bila terjemur sinar matahari.</p>               |

b. Bahan pipa

Bahan pipa yang biasa dipakai untuk pipa induk adalah pipa galvanis, untuk bahan pipa cabang adalah PCV, sedangkan untuk pipa dinas dapat digunakan pipa dari jenis PVC atau galvanis. Keuntungan jika memakai pipa galvanis adalah pipa tidak mudah pecah bila tekanan air yang mengalir cukup besar atau mendapat tekanan dari luar yang cukup

berat, tetapi untuk harganya relatif mahal. Sedangkan untuk pipa PVC lebih mudah pecah walaupun dari segi harga lebih murah.



Gambar 61. Perpipaan distribusi pada SPAM Regional Kabupaten Bandung, Jawa Barat

(Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan)

c. *Valve*

Berfungsi untuk mengatur arah aliran air dalam pipa dan menghentikan air pada suatu daerah apabila terjadi kerusakan.



Gambar 62. *Box valve* pada SPAM IKK Kab. Biak Timur, Papua

(Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan)

d. Meter air

Berfungsi untuk mengukur besar aliran yang melalui suatu pipa.



Gambar 63. *Flow meter* pada SPAM IKK, Kab. Majene, Sulawesi Barat

(Sumber : Bimtek Perencanaan Jaringan)

e. Flow restrictor

Fungsinya untuk pembatas air baik untuk rumah maupun kran umum agar aliran merata.

f. Aksesoris perpipaan

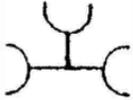
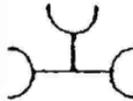
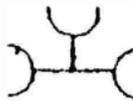
Untuk aksesoris perpipaan, ada tujuh benda yang antara lain meliputi:

- Sok, yang berfungsi untuk menyambungkan pipa pada posisi lurus. Sok dibedakan menjadi :
  1. Sok turunan, menghubungkan dua pipa yang mempunyai diameter berbeda.
  2. Sok adaptor, menghubungkan dua pipa yang mempunyai tipe berbeda, misalnya PVC dengan GI.
- Flens, yang berfungsi untuk menyambung pipa. Penyambungan dengan flens dilakukan untuk pipa yang

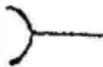
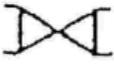
kedudukannya di atas permukaan tanah dengan diameter yang lebih besar dari 50 mm. Flens diperlukan dalam bentuk flens adaptor.

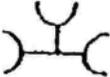
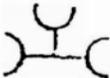
- Water mul dan nipel, berfungsi untuk menyambung pipa dalam posisi lurus. Pipa ini dapat dibuka kembali meskipun kedudukan pipa-pipa yang disambung dalam keadaan mati.
- Penyambung gibault, yang khusus dipakai untuk menyambung pipa asbestos semen.
- Dop dan plug, berfungsi untuk menutup ujung akhir pada pipa.
- Bend, berfungsi untuk menyambung pipa yang posisinya membentuk sudut satu sama lainnya. Sudut bend yang tersedia adalah  $90^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $22,5^{\circ}$ , serta  $11,25^{\circ}$ .
- Tee, yang berfungsi untuk menyambung pipa bila ada percabangan tiga pipa yang saling tegak lurus.

**Tabel 19. Daftar standar perlengkapan perpipaan**

| No                         | Jenis   | Simbol  | Ukuran nominal (luar)<br>(dalam mm, kecuali dicantumkan<br>lain)  |
|----------------------------|---|---|---|
| <b>A. Perlengkapan PVC</b> |   |   |   |
| A.1                        | Tee, dengan soket semua sambungan perekat                                 |    | 25 × 16, 25 × 25<br>32 × 16, 32 × 25, 32 × 32<br>50 × 16, 50 × 25, 50 × 32, 50 × 50   |
| A.2                        | Tee, dengan soket semua sambungan gelang karet                            |    | 63 × 63<br>90 × 63, 90 × 90<br>110 × 63, 110 × 90, 110 × 110<br>160 × 63, 160 × 90, 160 × 110, 160 × 160  |
| A.3                        | Tee, dengan soket semua sambungan gelang karet, satu perekat untuk cabang |  | 63 × 50, 90 × 50, 110 × 50, 160 × 50  |
| A.4                        | Klem sadel, dengan soket katup  |  | 63 mm × 1/2" (20 mm valve socket)<br>63 mm × 1/4" (25 mm valve socket)<br>63 mm × 1" (32 mm valve socket)<br>90 mm × 1/2", 90 mm × 3/4", 90 mm × 1"<br>110 mm × 1/2", 110 mm × 3/4", 110 mm × 1"<br>160 mm × 1/2", 160 mm × 3/4", 160 mm × 1" |
| A.5                        | Bend 22,5°; satu soket dengan perekat                                     |  | 50  |

|      |   |   |  |
|------|---|---|--|
| A.6  | Bend 45°;<br>satu soket<br>dengan<br>perekat  |    | 16, 25, 32, 50                         |
| A.7  | Bend 90°;<br>satu soket<br>dengan<br>perekat  |    | 16, 25, 32, 50                         |
| A.8  | Bend 22,5°,<br>45°, dan 90,<br>satu soket<br>dengan<br>gelang karet                                     |    | 63, 90, 110, 160                       |
| A.9  | Reducer,<br>soket sama<br>dengan<br>perekat   |    | 16 × 25<br>25 × 32, 25 × 50<br>32 × 50 |
| A.10 | Reducer,<br>soket sama<br>dengan<br>gelang karet  |  | 63 × 90<br>90 × 110<br>110 × 160       |
| A.11 | Reducer,<br>soket semua<br>sama<br>dengan<br>perekat (0-<br>10 mm)<br>dengan<br>gelang karet<br>(50 mm) |  | 50 × 63                                |
| A.12 | Kap, dengan<br>perekat  |  | 16, 25, 32, 50                         |

|      |  |   |                      |
|------|--|---|----------------------|
| A.13 | Kap, dengan gelang karet               |  | 63, 90, 110, 160     |
| A.14 | Soket ulir jantan, dengan gelang karet |  | 25, 32, 50           |
| A.15 | Soket flana, dengan gelang karet       |  | 50, 61, 90, 110, 160 |
| A.16 | Katup, dengan soket ulir               |  | 25, 32, 50           |
| A.17 | Katup, dengan flens                    |  | 63, 90, 110, 160     |

| No                          | Jenis   | Simbol  | Ukuran nominal (luar)<br>(dalam mm, kecuali dicantumkan lain)     |
|-----------------------------|---|---|---|
| <b>B. Perlengkapan HDPE</b> |   |   |   |
| B.1                         | Tee, dengan soket khusus pipa HDPE  |  | 25 × 16, 25 × 25<br>32 × 16, 32 × 25, 32 × 32<br>63 × 50, 63 × 63 |
| B.2                         | Tee, dengan 2 gelang karet untuk PVC dan adaptor untuk pipa HDPE (cabang) |  | 90 × 50, 110 × 50; 160 × 560<br>90 × 63; 110 × 63; 160 × 53       |

|     |   |   |  |
|-----|---|---|--|
| B.3 | Klem sadel untuk pipa PVC dengan soket katup cabang, termasuk adaptor untuk pipa HDPE |  | $63 \times 16, 63 \times 25, 63 \times 32$<br>$90 \times 16, 90 \times 25, 90 \times 32$<br>$110 \times 16, 110 \times 25, 110 \times 32; 110 \times 50$<br>$160 \times 16, 160 \times 25, 160 \times 32; 160 \times 50$ |
|-----|---|---|--|

## 6. Deteksi kebocoran

Dalam perencanaan sistem distribusi air bersih tidak menutup kemungkinan terjadi kebocoran atau kehilangan air. Kebocoran yang dimaksud di sini adalah adanya aliran air keluar dari dalam pipa maupun adanya aliran air, udara, atau zat apapun yang masuk ke dalam pipa akibat tekanan negatif dalam pipa. Kebanyakan kebocoran terjadi pada bagian-bagian sambungan pipa dan perlengkapannya, atau lubang kecil akibat cacat bahan/pengerjaan pipa.

Kebocoran didefinisikan sebagai jumlah air yang hilang akibat:

- Kesalahan atau kurang baiknya pemasangan pipa, akibat gempa atau turunnya tanah tempat pipa tertanam.
- Korosi yang timbul karena pengaruh lingkungan sekitarnya yang korosif atau karena lapisan pelindung korosinya sudah terkelupas/rusak.
- Terkena tekanan dari luar sehingga menyebabkan pipa retak atau pecah
- Penyambungan liar

Untuk mengetahui jika terjadi kebocoran yang tidak tepat misalnya air rembesan dari keretakan pipa, dapat diatasi dengan alat pendeteksi kebocoran yang disebut *leak detector*. Sedangkan upaya untuk mengurangi terjadinya kehilangan air yang lebih besar dalam sistem distribusi air, dapat dilakukan dengan kebijakan pembagian wilayah (zonasi) untuk memudahkan pengontrolan kebocoran pipa, serta pemasangan meteran air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, Irawan Sapto. *5 Gejala Kelebihan Kalsium yang Perlu Diwaspadai*. Dipublikasikan pada 7 Februari 2021. Diambil dari: <https://health.kompas.com/read/2021/02/07/160600368/5-gejala-kelebihan-kalsium-yang-perlu-diwaspadai?page=all>. Diakses pada 8 April 2021.
- Alamudi, Arifin Al . *Masih Banyak Peninggalan Belanda, Potret Kota Medan Dahulu vs Sekarang*. Dipublikasikan pada 16 Agustus 2021. Diambil dari : <https://sumut.idntimes.com/science/discovery/arifin-alamudi/masih-banyak-peninggalan-belanda-potret-kota-medan-dahulu-vs-sekarang/7>. Diakses pada 2 September 2021.
- Alfanita, A.Y. 2017. *Distribusi Kuman Coliform Pada Air Minum Dan Air Bersih Rumah Tangga Non PDAM (Studi di Dusun Gintungan, Desa Gogik, Ungaran, Kabupaten Semarang)*. Thesis (Sarjana (S1/D4)). Semarang : Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Andriani, Dewi. *Mengenal Pentingnya Cairan Dalam Tubuh*. Dipublikasikan pada 4 Juni 2020. Diambil dari: <https://adihusada.ac.id/artikel.php?info=active&artikel=16>. Diakses pada 10 April 2021.
- Anonim. 2004. *Modul Proyeksi Kebutuhan Air dan Identifikasi Pola Fluktuasi Pemakaian Air*. Jakarta : BPSDM Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Anonim. 2015. *Pengembangan Air Minum Indonesia dari Masa ke Masa 1800an – 2009*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. 2018. *Modul 10 Sistem Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi*. Jakarta : BPSDM Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. 2018. *Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum Modul Reservoir*. Jakarta : BPSDM Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. *Sungai Tigris dan Eufrat : Bangsa Sumeria*. Diambil dari : <https://lampukecil.com/2014/09/05/sungai-tigris-dan-eufrat-bangsa-sumeria/> Diakses pada 10 Mei 2021.
- Anonim. *Fungsi Hydrant Sebagai Sistem Proteksi Kebakaran*. Diambil dari : <https://firehydrant.id/fungsi-hydrant/>. Diakses pada 13 April 2021.
- Anonim. *Presipitasi (Meteorologi)*. Diambil dari : [http://p2k.itbu.ac.id/id3/3070-2950/Presipitasi\\_38924\\_ensiklopedia-dunia-q-itbu.html](http://p2k.itbu.ac.id/id3/3070-2950/Presipitasi_38924_ensiklopedia-dunia-q-itbu.html). Diakses pada 30 Juni 2021.
- Anonim. *Perbedaan Antara Infiltrasi dan Perkolasi*. Diambil dari : <https://id.strephonsays.com/infiltration-and-vs-percolation-2767>. Diakses pada 30 Juni 2021.

Anonim. *Wassen In Batavia*. Diambil dari :

<https://sepanjangjk.files.wordpress.com/2011/08/1939-wassen-in-batavia.jpg>. Diakses pada 11 Mei 2021.

Anonim. *Pengaruh Kadar pH Air Bagi Kesehatan*. Diambil dari :

<https://sanitariankit.id/pengaruh-kadar-ph-air-bagi-kesehatan/>.  
Diakses pada 5 Juli 2021.

Anonim. *Syarat Sumur Sehat*. Dipublikasikan pada 2 Oktober 2021.

Diambil dari : <http://www.indonesian-publichealth.com/sumur-sehat/> Diakses pada 10 Juli 2021.

Anonim. *Water Well Types*. Dipublikasikan pada 2021. Diambil dari :

<https://www.canadianhomeinspection.com/home-reference-library/plumbing/water-wells/>. Diakses pada 10 Juli 2021.

Anonim. *Mengenal Jenis-Jenis Teknik Penjernihan Air, Ada Yang Bisa Dibuat Sendiri*. Dipublikasikan pada 22 Juni 2020. Diambil dari :

<https://watercare.co.id/article/mengenal-jenis-jenis-teknik-penjernihan-air-ada-yang-bisa-dibuat-sendiri/>. Diakses pada 15 Juli 2021.

Anonim. *United Nations Water Conference Opens in Mar Del Plata*.

Diambil dari :  
<https://www.unmultimedia.org/s/photo/detail/172/0172120.html>.  
Diakses pada 13 Mei 2021.

Anonim. *Mengapa Air Minum di Rumah Berbau Sulfur, dan Apa Penyebabnya?*. Diambil dari : <https://alvawater.co.id/2020/10/30/mengapa-air-minum-di-rumah-berbau-sulfur-dan-apa-penyebabnya/>. Diakses pada 16 Juli 2021.

Anonim. *Air Permukaan : Pengertian, Karakteristik, & Jenis*. Diambil dari : <https://www.gramedia.com/literasi/air-permukaan/>. Diakses pada 18 Juli 2021.

Anonim. *Mata Air – Pengertian, Proses, Jenis, Manfaat & Pengelolaan*. Diambil dari : [https://rimbakita.com/mata-air/#Pengertian\\_Mata\\_Air](https://rimbakita.com/mata-air/#Pengertian_Mata_Air). Diakses pada 22 Juli 2021.

Anonim. *Hutan Konifer – Pengertian, Ciri, Flora dan Fauna*. Diambil dari : <https://rimbakita.com/hutan-konifer/>. Diakses pada 22 Juli 2021.

Anonim. *Intake Structures, Pipes, Joints, Valves and Pumps*. Dipublikasikan pada 6 Agustus 2019. Diambil dari : <https://mjcetpc506ce.blogspot.com/2019/08/intake-structures-pipes-joints-valves.html>. Diakses pada 15 Agustus 2021.

Anonim. *Direct Intake*. Diambil dari : <https://armyengineer.tpub.com/EN0389/Figure-1-Direct-Intake-With-Hose-On-Bottom-Of-Water-Source-55.htm>. Diakses pada 11 Agustus 2021.

- Arsyam. *PDAM Intan Banjar, Berubah Untuk Lebih Baik*. Dipublikasikan pada 27 Juni 2019. Diambil dari : <https://habarkalimantan.com/umum/pdam-intan-banjar-berubah-untuk-lebih-baik/>. Diakses pada 19 Juli 2021.
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Cetakan Kedua*, Yogyakarta: UGM Press.
- Badan Peningkatan Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. *Peningkatan Kinerja PDAM & Penyelenggaraan SPAM Melalui KPBU*. Diambil dari: [http://sim.ciptakarya.pu.go.id/bppspam/assets/assets/upload/Profile\\_BPPSPAM.pdf](http://sim.ciptakarya.pu.go.id/bppspam/assets/assets/upload/Profile_BPPSPAM.pdf). Diakses pada 23 Juli 2021.
- Bahfein, Suhaiela. *Pemerintah Bangun Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Jawa Timur*. Dipublikasikan pada 14 Juli 2020. Diambil dari : <https://properti.kompas.com/read/2020/07/14/204309121/pemerintah-bangun-instalasi-pengolahan-lumpur-tinja-di-jawa-timur?page=all>. Diakses pada 22 Juli 2021.
- Balasubramanian, A. & Nagaraju, D. *The Hydrologic Cycle*. Dipublikasikan pada Februari 2015. Diambil dari: [https://www.researchgate.net/publication/315125743\\_THE\\_HYDROLOGIC\\_CYCLE](https://www.researchgate.net/publication/315125743_THE_HYDROLOGIC_CYCLE). Diakses pada 22 Mei 2021.
- Bruni, Marco & Spuhler, Dorothee. *Different Types of Springs and their Performance* Dipublikasikan pada 2020. Diambil dari : <https://sswm.info/es/arctic-wash/module-4-technology/further-resources-water-sources/springs>. Diakses pada 13 Agustus 2021.

- Bryan, K. 1919. Classification of Springs. *Journal of Geology* 27 : 552-561.
- Chatib, Benny. 1996. *Sistem Penyediaan Air Bersih, Diklat Tenaga Teknik PAM*. Bandung : LPM-ITB.
- Damayanti, H.R. 2018. *Pemetaan Wilayah Persebaran Fe Pada Air Sumur Gali di Desa Kotesan, Prambanan, Klaten*. Skripsi. Yogyakarta : Politeknik Kementerian Kesehatan.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bantul. *Sistem Pemanfaatan Air Hujan (SPAH)*. Dipublikasikan pada 30 Juni 2016. Diambil dari : <https://dlh.bantulkab.go.id/berita/264-sistem-pemanfaatan-air-hujan-spah>. Diakses pada 18 Agustus 2021.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2015. *Prasarana dan Sarana Air Minum*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2016. *Buku 4 Panduan Pendampingan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Perpipaan Berbasis Masyarakat*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. *Teknologi Pengolahan Air dengan Saringan Rumah Tangga (SARUT)*. Dipublikasikan pada 20 Agustus 2021. Diambil dari : [http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/produk/teknologi-terapan/teknologi-pengolahan-air-dengan-saringan-rumah-tangga-\(sarut\)-2230](http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/produk/teknologi-terapan/teknologi-pengolahan-air-dengan-saringan-rumah-tangga-(sarut)-2230). Diakses pada 28 Agustus 2021.

Direktorat Jenderal Cipta Karya. *Penampungan Air Hujan dengan Penyaringan*. Dipublikasikan pada 22 Agustus 2021. Diambil dari : <http://sim.ciptakarya.pu.go.id/btpp/produk/teknologi-terapan/penampungan-air-hujan-dengan-penyaringan-2201>. Diakses pada 28 Agustus 2021.

Direktorat Jenderal Cipta Karya. *Bangunan Operasi | Kapasitas IPA IKK Sindang Pasekan Kab. Indramayu*. Dipublikasikan pada 28 Agustus 2019. Diambil dari : <http://ciptakarya.pu.go.id/pspam/?section=search&s=Sindang%20Pasekan>. Diakses pada Diakses pada 3 Agustus 2021.

Direktorat Promosi Kesehatan dan Pemberdayaan Masyarakat Kementerian Kesehatan RI. *Manfaat Air Bersih dan Menjaga Kualitasnya*. Dipublikasikan pada 12 Januari 2020. Diambil dari: <https://promkes.kemkes.go.id/manfaat-air-bersih-dan-menjaga-kualitasnya>. Diakses pada 5 Agustus 2021.

Don/Pit. *Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A) Pungut Tengah Bangun Irigasi*. Dipublikasikan pada 8 Maret 2018. Diambil dari : <https://explorenews.net/2018/03/08/perkumpulan-petani-pemakai-air-p3a-pungut-tengah-bangun-irigasi/>. Diakses pada 27 Juni 2021.

Fauziah & Hericah, Y. 2015. *Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Kelurahan Pipa Reja Kecamatan Kemuning Palembang*. Laporan Akhir DIII. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.

- Gerintya, Scholastica. *Bagaimana Mutu dan Akses Air Bersih di Indonesia*. Dipublikasikan pada 20 Maret 2018. Diambil dari : <https://tirto.id/bagaimana-mutu-dan-akses-air-bersih-di-indonesia-cGrk>. Diakses pada 20 Juni 2021.
- Hakim, Iqbal. *Evapotranspirasi: Pengertian, Faktor, dan Cara Menghitung*. Dipublikasikan pada 16 Desember 2020. Diambil dari : <https://insanpelajar.com/evapotranspirasi-pengertian-faktor-dan-cara-menghitung/>. Diakses pada 15 April 2021.
- Hamzah, Muhammad. *In Picture: Perlindungan Sumber Mata Air Berkelanjutan*. Dipublikasikan pada 3 September 2021. Diambil dari : <https://www.republika.co.id/berita/qytj1e314/perlindungan-sumber-mata-air-berkelanjutan-3> . Diakses pada 7 September 2021.
- Hastuti, Elis. dkk. 2014. *Terminal Air*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman.
- Hendri, Muhammad. *Dinamika Perubahan Hidrosfer dan Dampaknya Terhadap Kehidupan di Muka Bumi*. Dipublikasikan pada 2010. Diambil dari : <https://belajargeodenganhendri.wordpress.com/2011/04/13/hidrosfer/>. Diakses pada 12 April 2021.
- Hendricky, C., R. Lambert, X. Sauvenier & A. Peeters, 2005. Sustainable Nitrogen Management in Agriculture : An Action Programe Towards Protecting Water Resources in Alwoon Religon (Belgium). *Paper presented on OECD Workshop on Agriculture and Water : Sustainability, Markets and Policies*. Australia.

- Hossain, Mohammad Zakir. 2015. Water: The Most Precious Resource of Our Life. *Global Journal of Advanced Research*, Vol.2, Issue-9 pp. 1436-1445.
- Ibeng, Parta. *Evapotranspirasi: Pengertian, Faktor, dan Cara Menghitung*. Dipublikasikan pada 3 November 2021. Diambil dari : <https://pendidikan.co.id/daur-air/>. Diakses pada 5 November 2021.
- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor : 3 Tahun 1999 Tentang Pembaharuan Kebijaksanaan Pengelolaan Irigasi.
- Irianto, I. Ketut. 2015. *Diktat Pengelolaan Air*. Denpasar : Universitas Warmadewa.
- Katada. *Usut Dana CSR PDAM Giri Menang, Kejari Mataram Ungkap Calon Tersangka*. Dipublikasikan pada 8 Juli 2019. Diambil dari : <https://katada.id/usut-dana-csr-pdam-giri-menang-kejari-mataram-ungkap-calon-tersangka/>. Diakses pada 19 Mei 2021.
- Kodoatie, Robert J & Sarief Roestam. 2012. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kusumakerti, Ni Wayan. 2020. *Perbedaan Kualitas Bakteriologi Air Minum Isi Ulang Sebelum dan Sesudah Proses Pengolahan*. Diploma Thesis. Denpasar : Politeknik Kesehatan Kemenkes.

- Lathifah, Laila. 2017. *Hubungan Jarak Jamban, Konstruksi Sumur dan Jenis Sumur Gali dengan Kualitas Bakteriologis Air Sumur Gali (Studi Kasus di Desa Mlagen Kecamatan Pamotan Kabupaten Rembang Tahun 2016)*. Sarjana (S1/D4) Thesis. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Lumajangtopic. *Standar Jarak Sumur Gali dengan Jamban*. Dipublikasikan pada 28 Januari 2013. Diambil dari : <http://staypublichealth.blogspot.com/2013/01/standar-jarak-sumur-gali-dengan-jamban.html>. Diakses pada 3 Oktober 2021.
- Maksum Radji. 2010. *Cepat Bakteri Escherichia Coli dalam Sampel Air dengan Metode Polymerase Chain Reaction Menggunakan Primer 16E1 dan 16E2*. Depok: Universitas Indonesia.
- Mansur, Effendi. *Tata Cara Kerjasama Penyelenggaraan SPAM*. Dipublikasikan pada 14 November 2018. Diambil dari: <https://www.slideshare.net/H2OManagement/tata-cara-kerjasama-spam-oleh-effendi-mansur>. Diakses pada 26 September 2021.
- Naharuddin, dkk. 2018. *Buku Ajar Pengelolaan Daerah Airan Sungai Dan Aplikasinya Dalam Proses Belajar Mengajar*. Palu: Untad Press.
- Norhayati, dkk. *Hidrologi*. Dipublikasikan pada 2019. Diambil dari : <https://slideplayer.info/slide/12412467/>. Diakses pada 29 April 2021.

Nuswantoro. *Peninggalan Belanda Ini Masih jadi Penyedia Air Bersih bagi Warga*. Dipublikasikan pada 5 Januari 2016. Diambil dari : <https://www.mongabay.co.id/2016/01/05/peninggalan-belanda-ini-masih-jadi-penyedia-air-bersih-bagi-warga/>. Diakses pada 23 Mei 2021.

Partini, Putu Sri. 2018. *Tinjauan Kualitas Air Bersih di RSUP Sanglah Denpasar*. Diploma Thesis. Denpasar : Politeknik Kesehatan Kemenkes.

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/MEN.KES/PER/IX/1990  
Tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/  
MENKES/ PER/ IV/ 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air  
Minum.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 82 Tahun 2001  
Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran  
Air.

Pramulia, Sigit. *Kelembagaan P3A Tahun 2014 Bappeda Deli Serdang*.  
Dipublikasikan pada 2014. Diambil dari :  
<http://www.slideshare.net>. Diakses pada 20 September 2021.

Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.  
*Sejarah Teknik Lingkungan*. Dipublikasikan pada 2018. Diambil  
dari : <https://env.itb.ac.id/tentang/sejarah/>. Diakses pada 5 Juni  
2021.

- Rao, S.M. & P. Mamatha. 2004. Water Quality in Sustainable Water Management. *Current Science*, Vol. 87 (7) : 942-947.
- Rifai, Lukman Hanif. *Perancangan Sistem Monitoring Evapotranspirasi dan Kadar Lengas Tanah Guna Mendukung Manajemen Pertanian Presisi di Daerah Tropis*. Dipublikasikan pada 23 November 2018. Diambil dari : <https://smart-farming.tp.ugm.ac.id/2018/11/23/perancangan-sistem-monitoring-evapotranspirasi-dan-kadar-lengas-tanah-guna-mendukung-manajemen-pertanian-presisi-di-daerah-tropis/> . Diakses pada 28 Juli 2011.
- Rusdani, J.A. 2015. *Perencanaan Sistem Jaringan Perpipaan Air Bersih Dusun Morangan Desa Sindumartani Sleman Yogyakarta*. Tugas Akhir. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Salim, M.A. 2019. *Analisis Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Bersih (Studi Kasus Kecamatan Bekasi Utara)*. Skripsi. Jakarta : Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Salmanisaleh. *Sistem Penyediaan Air Bersih*. Dipublikasikan pada 2016. Diambil dari : <https://salmanisaleh.files.wordpress.com/2016/03/sistem-penyediaan-air-bersih.pdf>. Diakses pada 6 November 2021.
- Santosa, Langgeng Wahyu. Kajian Hidrogeomorfologi Mata Air Di Sebagian Lereng Barat Gunung Api Lawu. *Forum Geografi*, Vol. 20, No. 1, Juli 2006: 68 – 85.

- Saputra, Erandhi Hutomo. *Layaknya Singapura, Semarang Kini Punya 8 Keran Air Siap Minum*. Dipublikasikan pada 20 Februari 2019. Diambil dari : <https://kumparan.com/kumparannews/layaknya-singapura-semarang-kini-punya-8-keran-air-siap-minum-1550640477534075058/full> Diakses pada 2 April 2021.
- Sarbini, Atang. 2014. *Perlindungan Mata Air*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman.
- Sarbini, Atang. 2014. *Tata Cara Perencanaan Air Bersih Perdesaan dengan Kran Umum*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman.
- Schroeder, E.D. 1977. *Water and Wastewater Treatment*. New York : McGraw-Hill.
- Sidik, Fajar. 2016. *Rencana Pengembangan Sistem Jaringan Distribusi PDAM Unit Operasional Kecamatan Mlati Kabupaten Sleman*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Atma Jaya.
- Smitt, Asger. 1992. *De Waterleiding Van Batavia*.
- Soegianto, A. 2005. *Ilmu Lingkungan Sarana Menuju Masyarakat Berkelanjutan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Sosrodarsono, S. & Takeda Kensaku. 1976. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Strahler, A.N. 1970. *Introduction to Physical Geography*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Sulistyo, Ary. *Groot Rivier Ciliwung: Pelajaran Lingkungan dari Masa Lalu dan Banjir Jakarta*. Dipublikasikan pada 12 Februari 2014. Diambil dari : <https://iplbi.or.id/groot-rivier-ciliwung-pelajaran-lingkungan-dari-masa-lalu-dan-banjir-jakarta/>. Diakses pada 28 April 2021.

Supardi, Achmad. *Hidup Sehat Dengan Air Bersih PAMSIMAS*. Dipublikasikan pada 29 Januari 2012. Diambil dari : <http://supardi-achmad.blogspot.com/2012/01/blog-post.html>. Diakses pada 7 September 2021.

Suprianto, Muslih. *Sejarah Proyek Pembangunan Instalasi Air Minum (IPA) Pejompongan I Di Indonesia*. Dipublikasikan pada 12 Maret 2021. Diambil dari : <https://deskjabar.pikiran-rakyat.com/ragam/pr-1131579872/sejarah-proyek-pembangunan-instalasi-air-minum-ipa-pejompongan-i-di-indonesia>. Diakses pada 23 Mei 2021.

Susilawati. 2015. *BBM Konsep Dasar Bumi Antariksa untuk SD*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.

Thorsteinsson, Throstur. *Chapter 2 The Hydrological Cycle*. Diambil dari : <https://notendur.hi.is/thorstur/teaching/vatna/HYDROCYCLE.PDF>. Diakses pada 2 Juni 2021.

Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. New York : John Willey & Sons. Inc.

- Tolman, C.F. 1937. *Groundwater*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Udayangani, Samanthi. *Difference Between Infiltration and Percolation*. Dipublikasikan pada 7 Mei 2011. Diambil dari : <https://www.differencebetween.com/difference-between-infiltration-and-vs-percolation/>. Diakses pada 4 Juni 2021.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor : 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air.
- Watanabe. *Sistem Penyediaan Air*. Dipublikasikan pada 6 Desember 2014. Diambil dari : <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/hidrologi/jenis-jenis-air>. Diakses pada 25 Oktober 2021.
- Wicaksono, B. & Agustina, E. 2008. *Perencanaan Jaringan Sarana Air Bersih Berbasis SIG di IKK Brangsong Kabupaten Kendal*. Tugas Akhir. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Yudianto, Suroso Adi. 2012. *Air Dalam Kehidupan*. Direktori File UPI. Vol. 1, no 4 Januari 2012. Diambil dari : [http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR.\\_PEND.\\_BIOLOGI/195305221980021-SUROSU\\_ADI\\_YUDIANTO/Buku\\_Ilmiiah\\_Populer/Buku\\_I\\_Air\\_dlm\\_Kehidupan.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._BIOLOGI/195305221980021-SUROSU_ADI_YUDIANTO/Buku_Ilmiiah_Populer/Buku_I_Air_dlm_Kehidupan.pdf). Diakses pada 8 Juni 2021.
- Yulia. *15 Jenis Jenis Air di Bumi : Tanah, Permukaan, Air Angkasa dan Manfaatnya*. Dipublikasikan pada 31 Oktober 2015. Diambil dari : <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/hidrologi/jenis-jenis-air>. Diakses pada 7 September 2021.

Zulkarnain, Iskandar. 2018. *Bab III Pengguna Air Irigasi. In: Pengantar Pengolahan Tanah Dan Irigasi (unpublished)* pp. 95-133. Bandar Lampung : Universitas Lampung.

## GLOSARIUM

**Air bersih** adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak.

**Air minum** adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum.

**Air normal** adalah air yang dapat digunakan untuk kehidupan umumnya tidak berbau, tidak berwarna dan tawar (tidak ada rasanya).

**Air permukaan** adalah air yang berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan tanah, sebagian menguap dan sebagian lainnya mengalir ke sungai, saluran air lalu disimpan di dalam danau, waduk dan rawa.

**Bumi** merupakan satu-satunya planet dalam sistem tata surya yang sebagian besar wilayahnya didominasi oleh wilayah perairan, baik dalam bentuk padat (lembaran-lembaran salju dan es), cair, maupun bentuk gas (uap air).

**Evaporasi** merupakan proses penguapan dimana terjadi perubahan fase dari cair menjadi uap.

**Evapotranspirasi** merupakan kombinasi proses kehilangan air dari suatu lahan menuju ke atmosfer melalui proses evaporasi dan transpirasi.

**Hidrologi** adalah cabang ilmu kebumihan yang secara khusus mempelajari bentang perairan terutama di kawasan darat.

**Hidrosfer** merupakan bagian lapisan air yang menutupi atau berada dalam bumi kita.

**Infiltrasi** adalah proses masuknya air ke dalam permukaan tanah.

**Kondensasi** adalah proses perubahan air dari gas menjadi cair, atau biasanya dikenal dengan istilah pengembunan.

**Oceanografi** adalah cabang keilmuan yang mempelajari permasalahan yang berhubungan dengan bentang perairan laut.

**PDAM** adalah singkatan dari Perusahaan Daerah Air Minum.

**Perkolasi** adalah proses pergerakan air ke bawah melalui pori-pori tanah dan batuan.

**Presipitasi** merupakan proses dimana kelembaban yang ada di atmosfer jatuh ke bumi dalam bentuk hujan air, hujan salju, maupun hujan es.

**Siklus hidrologi** adalah model konseptual yang menggambarkan penyimpanan dan pergerakan air antara biosfer, atmosfer, litosfer, dan hidrosfer.

**Siklus menengah** merupakan air laut menguap, terjadi kodensasi, uap air terbawa angin dan membentuk awan di atas daratan, hujan jatuh di daratan menjadi air darat, dan kemudian menuju laut.

**Siklus panjang** merupakan air laut menguap, kemudian terjadi kondensasi, uap air terbawa angin dan membentuk awan di atas daratan hingga ke pegunungan tinggi, jatuh sebagai salju, terbentuk gletser, mengalir ke sungai selanjutnya kembali ke laut lagi.

**Siklus pendek** merupakan air laut menguap, terjadi kondensasi, uap air membentuk awan dan menghasilkan hujan, kemudian kembali ke laut lagi.

**Transpirasi** adalah penguapan air yang berasal dari tanaman, sebagai akibat dari proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan juga uap air.

**Transportasi** adalah pergerakan air melalui atmosfer, khususnya dari lautan ke daratan.

***Waterborne disease*** adalah penyakit yang ditularkan langsung melalui air seperti diare, tyfus, disentri, hepatitis A dan E.

***Water related vectors*** adalah penyakit yang ditularkan oleh vector penyakit yang sebagian atau seluruhnya berada di air seperti malaria, Demam Berdarah Dengue (DBD), filariasis dan sebagainya.

***Water washed disease*** adalah penyakit yang mempunyai kaitan dengan krisis air untuk keperluan sehari-hari seperti scabies, infeksi kulit dan selaput lendir (dermatitis), trachoma, lepra, frambusia dan lain-lain.

*Vector related disease* adalah penyakit yang ditularkan oleh vektor yang sebagian atau seluruh kehidupannya berkaitan dengan sampah seperti diare dan lain lain.

## INDEKS

---

### A

Ahli · 8, 41, 55  
Air · ii, iii, vi, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13,  
15, 16, 18, 20, 21, 22, 26, 27, 30, 31,  
33, 34, 35, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 48,  
51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62,  
63, 65, 66, 67, 75, 76, 77, 78, 79, 80,  
82, 84, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,  
97, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 109,  
119, 120, 122, 123, 124, 126, 127, 128,  
129, 130, 131, 132, 151, 152  
Aliran · 17, 20, 23, 24, 55, 79, 91, 94, 96,  
118, 124, 133, 134, 136, 142, 143, 149  
Atmosfer · 2, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17,  
24, 95, 151, 152, 153  
Atmosfir · 10, 11, 14, 16

---

### B

Bahan · vii, 2, 7, 8, 17, 22, 50, 59, 75, 78,  
79, 84, 90, 103, 110, 116, 127, 129,  
130, 131, 132, 139, 140, 141, 149  
Banjir · 8, 18, 23, 102, 103  
Batavia · v, 30, 33, 34, 35, 36  
Bau · 78, 79, 125, 130  
Belanda · 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 43,  
48, 57  
Bersih · i, iv, viii, 1, 34, 35, 36, 53, 59, 62,  
66, 75, 76, 77, 78, 84, 88, 89, 90, 91,  
94, 95, 97, 98, 99, 102, 103, 105, 106,  
107, 110, 112, 113, 115, 116, 117, 118,  
122, 124, 125, 126, 131, 133, 134, 135,  
137, 138, 149, 151  
Bertekstur · 20, 22  
Bidang · i, 19, 40, 41, 42, 43, 45, 49, 50,  
65, 74  
Bumi · 1, 8, 13, 151

---

### C

Cairan · 1, 3, 5, 9, 16

Curah · viii, 11, 17, 18, 19, 22, 24, 95,  
102, 106

---

### D

Daerah · 8, 11, 25, 27, 31, 41, 44, 45, 52,  
54, 59, 60, 65, 66, 68, 71, 76, 95, 99,  
102, 103, 105, 106, 108, 113, 114, 115,  
118, 133, 134, 135, 137, 142  
Dana · 40, 48, 49, 51, 52, 57, 60, 66, 71  
Debit · 36, 84, 107, 115, 116, 118, 124,  
126, 133  
Departemen · 34, 42, 43, 56, 59, 71, 108  
Derajat · 18, 27  
Dinas · 32, 33, 44, 45, 48, 51, 52, 110  
Distribusi · i, iv, vii, 63, 77, 79, 80, 99,  
103, 105, 115, 116, 117, 118, 129, 133,  
134, 135, 136, 137, 138, 142, 149  
Dunia · 1, 3, 7, 17, 28, 30, 66, 75

---

### E

Evaporasi · 13, 15, 151

---

### F

Faktor · 14, 17, 70, 75, 79, 96, 115, 117,  
133  
Fasilitas · 35, 52, 65, 107, 110  
Filtrasi · 56, 128, 129

---

### G

Geologi · 91, 96  
Gravitasi · 35, 36, 91, 96, 98, 105, 121,  
122, 126, 128, 134

---

### H

Hidrologi · v, 9, 10, 13, 91, 94, 152

Hidup · 1, 2, 3, 6, 7, 8, 13, 15, 26, 63, 75,  
79, 83, 91, 107  
Hujan · viii, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19,  
20, 22, 23, 24, 26, 59, 84, 89, 90, 91,  
93, 95, 97, 98, 102, 103, 151, 152, 153  
Hukum · 33, 45, 65

---

## *I*

Indonesia · i, ii, 27, 30, 34, 38, 39, 40, 41,  
43, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 53, 55, 58,  
60, 62, 66, 67, 74, 76  
Infiltrasi · 19, 20, 21, 22  
Infiltrasi · v, 19, 20, 21, 22, 152  
Intake · vi, 118, 119, 120, 121, 122, 123,  
126  
Internasional · 29, 50, 66  
Irigasi · 8, 14, 59, 104, 107

---

## *J*

Jangka · 47, 54, 62  
Jangka · 61, 62, 65, 67  
Jiwa · 53, 60, 62, 70, 106, 109, 113, 114,  
117

---

## *K*

Kebijakan · 47, 48, 51, 54  
Kebocoran · 63, 116, 149  
Kebutuhan · viii, 3, 13, 27, 33, 34, 39, 42,  
46, 47, 49, 50, 54, 55, 60, 61, 63, 70,  
75, 84, 97, 100, 107, 108, 110, 112,  
113, 114, 115, 116, 117, 133  
Kegiatan · 2, 7, 8, 48, 49, 52, 56, 63, 65,  
66, 71, 107  
Kesehatan · i, 3, 27, 28, 30, 34, 41, 42, 43,  
51, 64, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 88,  
90, 94, 112, 151  
Kesehatan · i, ii, 27, 34, 41, 43, 59, 77, 88  
Kimia · vii, 7, 8, 50, 77, 78, 80, 88, 116,  
125, 127, 129, 130, 131, 132  
Komponen · 3, 5, 56, 98, 99, 103  
Kondensasi · 16, 152  
Kota · v, viii, 7, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37,  
38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 51,

53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 66,  
71, 74, 76, 110, 115, 116, 135, 137,  
138  
Krisis · 8, 28, 105, 134, 153

---

## *L*

Landasan · 62, 65  
Lapisan · 9, 11, 23, 33, 91, 92, 94, 95, 97,  
99, 149, 152  
Larut · 2, 80, 129  
Laut · 2, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 22, 24, 26,  
94, 95, 98, 152, 153  
Lingkungan · i, 7, 8, 27, 43, 55, 58, 61, 75,  
79, 96, 110, 149  
Lingkup · 43  
Loop · 136, 137, 138

---

## *M*

Manusia · v, viii, 1, 4, 5, 6, 13, 26, 27, 43,  
46, 50, 75, 81, 82, 83, 91  
Masyarakat · i, 7, 27, 33, 34, 35, 44, 46,  
59, 60, 61, 64, 66, 76, 84, 90, 102, 104,  
105, 107, 112, 114, 133, 134  
Mata · vi, 1, 5, 19, 30, 32, 35, 36, 59, 89,  
90, 95, 96, 97, 103, 105, 106, 122  
Menteri · 77, 88  
Minum · v, viii, 1, 6, 7, 27, 28, 29, 30, 31,  
32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42,  
43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52,  
53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 63, 64,  
65, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 77,  
78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 91,  
99, 103, 105, 106, 107, 116, 124, 151

---

## *N*

Normal · 2, 18, 151

---

## *P*

PAM · 30, 44  
Panjang · v, 11, 12, 36, 38, 47, 62, 94,  
123, 152

Partikel · 3, 21, 126, 127, 128  
Pemanasan · 10, 83  
Pemerintah · 28, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 42,  
44, 51, 54, 58, 59, 60, 62, 67, 68  
Penyakit · 27, 75  
Perairan · 8, 9, 91, 151, 152  
Permukaan · 2, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17,  
18, 19, 20, 22, 23, 24, 35, 89, 90, 91,  
92, 94, 95, 96, 97, 98, 103, 104, 106,  
119, 125, 132, 139, 143, 151, 152  
Pipa · v, vii, 32, 35, 36, 37, 79, 82, 100,  
105, 116, 118, 120, 122, 123, 124, 133,  
134, 135, 136, 137, 138, 141, 142, 143,  
144, 147, 148, 149  
Presipitasi · 17, 152  
Proses · 1, 5, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 19,  
21, 22, 50, 55, 56, 61, 76, 79, 81, 89,  
91, 93, 96, 101, 110, 125, 126, 127,  
128, 132, 151, 152, 153  
Provinsi · 33, 44, 48, 52

---

## **R**

Rehabilitasi · 47, 48, 49  
Reservoir · viii, 98, 99, 118, 121, 131,  
133, 138, 139, 140  
Rumah · 60, 108, 111, 118

---

## **S**

Sampah · 28, 58, 153  
Sanitasi · ii, 26, 41, 55  
Sistem · i, iv, vii, viii, 5, 8, 16, 22, 30, 34,  
35, 36, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 50, 51,  
53, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 65, 68, 70,  
73, 76, 77, 79, 82, 98, 99, 102, 103,  
104, 106, 116, 118, 122, 123, 124, 133,  
134, 135, 136, 137, 138, 149, 151  
SPAM · vi, vii, viii, 45, 46, 57, 63, 67, 68,  
71, 73, 123, 126, 127, 128, 129, 130,  
131, 132, 142, 143  
Standar · viii, 43, 54, 76, 108, 145  
Sumber · vi, viii, 1, 2, 3, 7, 13, 19, 26, 29,  
31, 35, 36, 49, 50, 59, 60, 61, 70, 71,  
76, 78, 79, 82, 89, 90, 91, 93, 94, 97,  
98, 103, 105, 106, 118, 119, 120, 124

Sungai · 2, 7, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 22,  
23, 24, 26, 30, 31, 33, 59, 89, 90, 91,  
102, 107, 119, 125, 126, 151, 153  
Surabaya · 32, 33, 45, 46, 73, 95  
Syarat · 77, 78, 83

---

## **T**

Tahun · 9, 13, 26, 29, 30, 32, 36, 41, 42,  
44, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 60, 61, 62,  
63, 65, 66, 67, 70, 71, 74, 89, 94, 102,  
112, 113, 114, 116  
Tanah · viii, 2, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17,  
18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 30, 56,  
59, 66, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97,  
98, 99, 103, 104, 105, 106, 122, 125,  
129, 132, 139, 140, 143, 149, 151, 152  
Tekanan · 3, 37, 93, 97, 123, 124, 129,  
134, 136, 137, 138, 141, 149  
Teknis · 48, 67, 71, 116  
Teknologi · 59, 63, 84  
Tercemar · 7, 28, 78, 94, 97  
Transmisi · i, iv, 98, 99, 103, 118, 122,  
123, 124, 136  
Transpirasi · v, 10, 15, 16, 151  
Transpirasi · 16, 153  
Transportasi · 24, 153  
Tubuh · v, viii, 1, 3, 4, 5, 75, 78, 79, 81,  
82

---

## **U**

Uap · 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 25, 151,  
152, 153  
Udara · 10, 11, 14, 17, 26, 78, 80, 95, 97,  
112, 124, 149  
Umum · i, vi, viii, 7, 27, 34, 35, 47, 54,  
62, 63, 67, 95, 97, 98, 105, 107, 110,  
134, 143  
Upaya · 29, 50, 58, 59, 71, 73, 104, 106,  
149

---

## **W**

Warna · 2, 14, 31, 78, 81, 82, 90, 125

Wilayah · 8, 11, 17, 26, 32, 36, 60, 63, 73,  
106, 107, 110, 133, 135, 136, 149, 151

---

**Z**

Zat · 2, 5, 78, 80, 81, 84, 90, 94, 95, 97,  
126, 130, 149

Zona · 19, 21

## 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.



**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.