

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air minum merupakan kebutuhan pokok yang vital bagi keberlangsungan hidup manusia. Kualitas air yang dikonsumsi memiliki dampak langsung terhadap kesehatan, sehingga pengolahan air minum harus memenuhi standar mutu yang ditetapkan oleh pemerintah, seperti Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Dalam memenuhi standar tersebut, berbagai teknologi pemurnian air telah dikembangkan, salah satunya adalah reverse osmosis (RO), yaitu teknologi penyaringan molekuler menggunakan membran semi-permeabel yang mampu menghilangkan kontaminan hingga tingkat mikroskopik, termasuk mineral, logam berat, dan mikroorganisme.

Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro memiliki unit produksi air minum yang dikenal dengan nama Voca, yang beroperasi sebagai bagian dari sistem Teaching Factory (Tefa). Teaching Factory merupakan pendekatan pembelajaran berbasis industri di lingkungan pendidikan vokasi, yang bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik industri. Melalui Teaching Factory, mahasiswa tidak hanya belajar teori tetapi juga terlibat langsung dalam proses produksi riil sesuai dengan standar industri. Pabrik air minum Voca sendiri menggunakan teknologi reverse osmosis sebagai inti dari proses pemurniannya, dan memiliki kapasitas produksi sebesar 13.200 liter per hari, yang diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan air minum civitas akademika Universitas Diponegoro.

Meskipun pabrik air minum Voca telah beroperasi secara fungsional, dokumentasi sistem produksi dan desain proses secara teknis belum sepenuhnya terdigitalisasi atau terdokumentasi secara lengkap. Oleh karena itu, diperlukan upaya perancangan ulang (reverse engineering) terhadap keseluruhan sistem produksi guna mendapatkan pemahaman teknis yang lebih komprehensif mengenai alur proses, peralatan yang digunakan, efisiensi produksi, serta titik-titik kritis dalam operasional. Reverse engineering dalam konteks ini bukan hanya bertujuan untuk menyalin atau mereplikasi sistem, melainkan juga sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman teknis, efektivitas operasional, serta dasar untuk pengembangan atau modifikasi sistem di masa depan.

Melalui pendekatan reverse engineering, seluruh tahapan proses produksi—mulai dari penyimpanan air baku, penyaringan awal, pemrosesan RO, sterilisasi, pengisian ke dalam kemasan, hingga sistem distribusi—dapat dianalisis ulang dan digambarkan secara sistematis. Hal ini penting untuk mendukung kegiatan pembelajaran di lingkungan Sekolah Vokasi, sekaligus memastikan bahwa Teaching Factory benar-benar merepresentasikan praktik terbaik industri air minum. Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya memahami prinsip kerja teknologi RO, tetapi juga mampu melakukan analisis teknis dan perancangan sistem produksi secara menyeluruh.

Selain sebagai sarana pembelajaran, perbaikan dan dokumentasi proses melalui reverse engineering juga memiliki peran strategis dalam menjamin keberlanjutan operasional pabrik air minum Voca. Kebutuhan akan air minum yang berkualitas dan higienis di lingkungan Universitas Diponegoro semakin meningkat, seiring bertambahnya jumlah mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan. Dengan kapasitas produksi sebesar 13.200 liter per hari, pabrik air minum Voca diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam memenuhi kebutuhan tersebut, sehingga mengurangi ketergantungan pada pasokan air minum dari luar kampus.

Dengan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk melakukan perancangan ulang sistem produksi air minum demineral berbasis teknologi reverse osmosis di pabrik air minum Voca. Studi ini tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan sistem Teaching Factory dan peningkatan efisiensi produksi air minum di lingkungan Universitas Diponegoro.

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam proses perancangan suatu pabrik air minum demineral, salah satu aspek krusial yang perlu diperhitungkan secara cermat adalah kapasitas produksi. Kapasitas produksi mencerminkan kemampuan pabrik dalam menghasilkan volume air siap konsumsi dalam satuan waktu tertentu, yang akan menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan alat, waktu operasional, serta sistem distribusi produk. Untuk memenuhi kebutuhan air minum di lingkungan Universitas Diponegoro, khususnya melalui Teaching Factory Air Minum VOCA, ditetapkan kapasitas

produksi sebesar 13.200 liter per hari. Kapasitas ini dihitung berdasarkan target jumlah botol yang diproduksi setiap hari, yaitu sebanyak 40.000 botol berukuran 330 ml, yang dihasilkan melalui mesin berkapasitas 5.000 botol per jam selama 8 jam kerja per hari.

Berikut Merupakan Perhitungan Kapasitas Produksi berdasarkan data lapangan yang diperoleh :

1. Menghitung Produksi Botol Per Hari

$$5000 \frac{\text{botol}}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 40.000 \text{ botol/hari}$$

$$\frac{40.000 \text{ botol}}{24} = 1,666 \text{ karton}$$

2. Hitung Total Liter yang diproduksi per Hari

$$40.000 \frac{\text{botol}}{\text{hari}} \times 0,33 \frac{\text{liter}}{\text{botol}} = 13.200 \text{ liter/hari}$$

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan aspek strategis dalam perancangan dan operasional suatu fasilitas produksi. Penentuan lokasi yang tepat dapat memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi proses produksi, kemudahan distribusi, dan keberlanjutan usaha. Adapun beberapa pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi pabrik air minum demineral Voca yang terletak di lingkungan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro adalah sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Pabrik yang memiliki letak dekat dengan sumber bahan baku yang digunakan memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat mengurangi biaya transportasi serta memastikan kontinuitas pasokan bahan baku tanpa gangguan. Dalam hal ini, pabrik air minum dalam kemasan (AMDK) demineralisasi yang menggunakan air pegunungan Ungaran sebagai bahan baku akan lebih efisien jika dibangun di lokasi yang berdekatan dengan sumber air tersebut.

2. Kedekatan dengan Daerah Pemasaran

Pemasaran produk AMDK ini difokuskan pada wilayah Universitas Diponegoro (UNDIP). Produk akan didistribusikan langsung ke berbagai

kantin, koperasi mahasiswa, dan pusat perbelanjaan dalam lingkungan kampus. Selain itu, kerja sama dengan organisasi mahasiswa dan pihak universitas akan dilakukan untuk menjadikan produk ini sebagai pilihan utama dalam berbagai acara kampus. Strategi pemasaran akan mencakup promosi melalui media sosial kampus, event sponsorship, dan program diskon bagi mahasiswa dan staf. Dengan pendekatan ini, diharapkan produk AMDK dapat menjadi merek yang dikenal luas di lingkungan akademik UNDIP dan memenuhi kebutuhan hidrasi civitas akademika secara efektif.

3. Ketersediaan Utilitas

Utilitas merupakan unit yang bertugas dalam menunjang kegiatan pabrik, seperti menyuplai ketersediaan air, listrik, udara bertekanan, dan sarana pendukung lainnya. Pabrik air minum dalam kemasan menggunakan air dalam jumlah besar untuk berbagai proses produksi, sehingga lokasinya dipilih di dekat sumber air Pegunungan Ungaran yang dapat memenuhi kebutuhan pabrik dalam jangka waktu lama. Air ini digunakan dalam proses filtrasi, demineralisasi, sterilisasi, serta kebutuhan sanitasi pabrik.

Kebutuhan listrik pabrik disuplai dari jaringan PLN dengan cadangan genset untuk memastikan operasional tetap berjalan dalam kondisi darurat. Konsumsi listrik utama digunakan untuk mengoperasikan pompa RO, sistem sterilisasi UV/ozon, serta mesin pengemasan. Sistem udara bertekanan juga digunakan untuk mendukung proses pengisian dan penyegelan kemasan, yang disuplai oleh kompresor udara dengan sistem filtrasi agar kebersihannya tetap terjaga.

Selain itu, sistem pengolahan limbah diterapkan untuk mengelola limbah cair hasil proses RO (brine/reject) sebelum dibuang, serta sistem pemisahan limbah padat seperti plastik dan kardus bekas pengemasan. Sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) juga diterapkan untuk menjaga suhu dan sirkulasi udara di dalam fasilitas produksi guna memastikan kualitas produk tetap terjaga dengan sistem utilitas yang lengkap dan terintegrasi, pabrik air minum dalam kemasan ini dapat beroperasi secara efisien dan berkelanjutan guna memastikan ketersediaan produk dengan kualitas terbaik.

4. Ketersediaan Tenaga Kerja

Pabrik terintegrasi dengan sistem Teaching Factory, sehingga keberadaan tenaga kerja, baik dari kalangan teknisi, staf, maupun mahasiswa magang sangat tersedia. Mahasiswa Sekolah Vokasi jurusan Teknik Kimia, Teknologi Rekayasa Kimia Industri, dan bidang terkait dapat dilibatkan langsung dalam kegiatan produksi, pemeliharaan, dan manajemen mutu. Ini memberi nilai tambah dalam aspek efisiensi dan edukasi.

Faktor Penunjang Lainnya:

1. Kondisi Tanah dan Topografi

Lokasi pabrik dibangun di atas lahan kampus yang memiliki kontur tanah relatif datar dan stabil, serta tidak berada di wilayah rawan banjir atau longsor. Hal ini sangat mendukung keamanan bangunan, pemasangan instalasi pipa dan peralatan produksi, serta mempermudah proses pembangunan.

2. Potensi Perluasan Area

Lahan di sekitar fasilitas pabrik masih memungkinkan untuk dikembangkan di masa depan. Perluasan kapasitas produksi, penambahan lini pengemasan, atau pengembangan gudang dapat dilakukan tanpa harus memindahkan lokasi pabrik, sehingga lebih efisien secara investasi jangka panjang.

3. Dukungan Kebijakan dan Izin

Sebagai bagian dari institusi pendidikan, pendirian pabrik Teaching Factory ini mendapatkan dukungan penuh dari pihak universitas dan tidak menghadapi hambatan administratif yang biasa ditemukan dalam pendirian industri di kawasan komersial. Selain itu, kegiatan ini juga sejalan dengan kebijakan kampus merdeka dan pengembangan pendidikan vokasi berbasis industri.

4. Sarana Transportasi dan Aksesibilitas

Lokasi pabrik memiliki akses jalan yang baik, terhubung dengan jalan kampus utama dan jalur distribusi menuju dalam dan luar area Undip. Hal ini

memudahkan mobilitas kendaraan operasional, distribusi produk, serta pengangkutan bahan baku dan barang jadi.

1.4 Tinjauan Proses

Dalam produksi air minum demineral, terdapat beberapa tahapan penting yang harus dilalui untuk menghasilkan air yang higienis, aman, dan memenuhi standar mutu air minum. Proses produksi ini tidak hanya berfokus pada pemisahan fisik partikel besar, tetapi juga pada penghilangan senyawa terlarut, mikroorganisme patogen, serta penyesuaian kualitas sensorik seperti rasa dan bau. Oleh karena itu, sistem pengolahan air minum demineral umumnya menerapkan kombinasi metode fisika, kimia, dan biologi.

Tiga tahapan utama yang digunakan dalam sistem pengolahan ini adalah filtrasi, reverse osmosis (RO), dan sterilisasi. Setiap tahapan memiliki fungsi spesifik yang saling melengkapi dan memastikan bahwa air hasil akhir benar-benar layak konsumsi. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing proses. Filtrasi

Filtrasi merupakan tahap awal yang sangat penting dalam proses pengolahan air, terutama untuk menjamin kualitas air sebelum memasuki proses pemurnian lebih lanjut seperti reverse osmosis (RO). Tujuan utama dari filtrasi adalah untuk menghilangkan partikel padat tersuspensi, sedimen, lumpur, serta senyawa kimia organik dan anorganik yang dapat merusak unit pemrosesan di tahap selanjutnya. Proses ini biasanya dilakukan secara bertahap melalui sand filter, carbon filter, dan cartridge filter, yang masing-masing memiliki peran spesifik dalam membersihkan air (Menon, 1991)

Tahap pertama adalah penggunaan sand filter (filter pasir), yang bekerja secara mekanis untuk menyaring partikel kasar seperti lumpur, pasir, dan sedimen besar dari air baku. Sand filter bertindak sebagai garis pertahanan awal yang melindungi sistem dari penyumbatan serta memperpanjang umur peralatan berikutnya, termasuk pompa dan membran RO.

Setelah itu, air dialirkan menuju carbon filter (filter karbon aktif). Filter ini berfungsi menyerap senyawa organik, klorin bebas, bau tidak sedap, dan bahan kimia lainnya yang dapat memengaruhi rasa dan kualitas air. Biasanya, proses ini dilakukan dalam satu atau dua tahap untuk memastikan efektivitas penyisihan

kontaminan yang maksimal. Karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi tinggi, sehingga sangat baik untuk meningkatkan kualitas sensorik dan kimiawi air.

Sebagai tahap akhir dalam sistem filtrasi, air kemudian disaring menggunakan cartridge filter, yang terdiri dari elemen penyaring halus (biasanya berukuran antara 5 hingga 1 mikron). Cartridge filter bertugas menyaring partikel mikroskopis yang masih tersisa setelah sand dan carbon filter, seperti sisa flok, lumpur halus, atau serpihan karbon aktif. Tahap ini sangat penting karena memastikan bahwa air yang masuk ke membran RO benar-benar bebas dari padatan tersuspensi mikro yang dapat menyumbat pori-pori membran.

Dengan kombinasi ketiga sistem penyaringan ini, kejernihan air tidak hanya meningkat secara visual, tetapi juga mengurangi beban kontaminan terhadap sistem RO, meningkatkan efisiensi, serta memperpanjang umur membran dan komponen downstream lainnya.

1.4.1 Reverse Osmosis (RO)

Reverse Osmosis (RO) merupakan teknologi pemurnian air yang menjadi inti dari sistem demineralisasi. Proses ini bekerja dengan memberikan tekanan tinggi pada air baku agar dapat melewati membran semi-permeabel yang memiliki pori sangat kecil, yaitu sekitar 0,0001 mikron. Ukuran ini cukup untuk menyaring partikel terlarut seperti ion logam berat, mineral, garam, dan berbagai senyawa kimia berbahaya, namun masih dapat dilewati oleh molekul air murni (Ariyanti D., 2011).

RO secara signifikan mampu menurunkan nilai TDS (Total Dissolved Solids), kekeruhan, konduktivitas, serta berbagai kontaminan seperti arsenik, merkuri, nitrat, fluorida, dan bahkan mikroorganisme (Meidinariasty et al., 2019). Teknologi ini sangat populer dalam industri air minum karena prosesnya tidak memerlukan bahan kimia tambahan, menghasilkan air dengan kualitas tinggi, dan lebih ramah lingkungan dibanding metode konvensional seperti distilasi atau pelunakan kimia. Dalam sistem RO yang digunakan pada pabrik air minum demineral berbasis Teaching Factory ini, digunakan membran tipe BW30, yang merupakan salah satu produk dari Dow Filmtec (sekarang DuPont Water Solutions). Membran ini berbahan dasar Thin Film Composite (TFC) dengan lapisan utama

berupa poliamida semi-aromatik yang sangat selektif dan tahan terhadap tekanan tinggi serta kontaminasi kimia.

Membran tipe BW30 dikenal memiliki kapasitas tinggi dalam memproduksi air permeat. Karakteristik ini menjadikan BW30 sangat efisien dalam sistem pengolahan air skala industri, termasuk dalam pabrik air minum demineral. Dengan desain yang dioptimalkan untuk aliran besar, membran ini mampu memberikan hasil produksi yang stabil dan konsisten dalam jangka waktu panjang. Selain itu, BW30 juga memiliki ketahanan kimia yang baik, terutama terhadap kondisi oksidasi rendah. Hal ini membuatnya cocok digunakan pada air baku dengan kandungan garam dan senyawa kontaminan yang bervariasi, termasuk air dengan tingkat polutan organik maupun anorganik yang sedang hingga tinggi (Redondo & Lomax, 2001)

Dari segi ketahanan fisik dan operasional, membran BW30 juga dikenal memiliki umur pakai yang panjang, yakni dapat mencapai 2 hingga 3 tahun, tergantung pada kualitas air baku serta rutinitas perawatan yang dilakukan. Perawatan berkala seperti pembersihan kimia (CIP – Clean In Place) dan kontrol tekanan operasi sangat membantu dalam menjaga kinerja membran tetap optimal selama masa pakai tersebut. Lebih lanjut, BW30 didesain khusus untuk aplikasi pemurnian air tawar (fresh water) hingga air payau (brackish water), sehingga sangat sesuai digunakan pada sistem pengolahan air yang mengambil sumber air dari sumur bor, sungai, atau air permukaan lainnya yang mengandung garam dalam jumlah sedang (Verbeke et al., 2018)

Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, BW30 menjadi pilihan yang sangat direkomendasikan dalam instalasi reverse osmosis untuk produksi air minum demineral, karena tidak hanya mampu memberikan performa tinggi tetapi juga efisiensi biaya dalam jangka panjang.

Prinsip kerja Reverse osmosis dengan membrane BW 30, Air baku yang telah difiltrasi awal melalui sand filter, carbon filter dan catridge filter dialirkan menuju unit RO dengan bantuan pompa bertekanan tinggi. Saat air melewati membran BW30, molekul air bersih (permeat) akan melintasi membran, sementara partikel terlarut dan kontaminan tertahan di sisi lain dan dialirkan sebagai air

buangan (reject). Proses ini dapat menghilangkan hingga 98–99% zat terlarut, menjadikan air hasil RO sangat murni dan cocok untuk dikonsumsi langsung setelah proses sterilisasi.

1.4.2 Sterilisasi

Tahap akhir dalam produksi air minum demineral adalah sterilisasi, yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, dan jamur yang mungkin masih ada dalam air setelah proses RO. Dalam sistem ini, terdapat dua metode sterilisasi utama:

- a. Sterilisasi menggunakan ozon (ozonisasi), yang merupakan disinfektan kuat dan efektif dalam membunuh mikroba serta mengoksidasi bahan organik. Ozon juga membantu menjaga kesegaran air.
- b. Sterilisasi dengan sinar ultraviolet (UV), yang bekerja dengan merusak DNA mikroorganisme sehingga mereka tidak bisa berkembang biak. Metode ini tidak meninggalkan residu dan sangat efektif untuk lapisan sterilisasi tambahan.

Tahap ini sangat penting karena meskipun air secara kimiawi telah bersih, masih ada kemungkinan terjadinya kontaminasi biologis yang berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu, sterilisasi merupakan jaminan akhir dari keamanan mikrobiologis produk.

1.5 Keunggulan Air Demineral

Air demineral adalah air yang telah melalui proses pemurnian untuk menghilangkan hampir seluruh kandungan ion-ion mineral terlarut seperti kalsium, magnesium, natrium, klorida, dan sulfat (Suryani & Moulita, 2022). Salah satu keunggulan utama air demineral adalah tingkat kemurniannya yang sangat tinggi, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi, baik dalam industri maupun konsumsi terbatas. Karena bebas dari mineral penyebab kerak, air ini tidak meninggalkan endapan pada peralatan pemanas, ketel, atau sistem perpipaan, sehingga dapat memperpanjang umur peralatan dan mengurangi biaya pemeliharaan. Selain itu, air demineral juga bersifat tidak korosif, sehingga lebih aman digunakan dalam sistem yang menggunakan logam atau stainless steel.

Dari segi sensorik, air demineral memiliki rasa yang netral karena tidak mengandung mineral yang dapat mempengaruhi cita rasa. Hal ini sangat menguntungkan terutama dalam industri makanan dan minuman, karena memastikan konsistensi kualitas produk akhir. Kandungan Total Dissolved Solids (TDS) yang rendah pada air demineral juga mendukung kontrol mutu yang ketat, karena menghindari variasi rasa dan komposisi yang dapat muncul dari air baku yang tidak stabil. Di sisi lingkungan, air demineral lebih ramah karena tidak meninggalkan residu mineral yang dapat mencemari atau merusak sistem pengolahan limbah. Bahkan dalam beberapa kasus, air limbah dari proses demineralisasi masih dapat dimanfaatkan untuk keperluan non-kritis seperti pencucian atau irigasi. Bagi individu dengan kebutuhan kesehatan khusus, seperti penderita gangguan ginjal, air demineral dapat menjadi pilihan konsumsi yang aman karena kandungan mineralnya yang sangat rendah.

Secara keseluruhan, keunggulan air demineral terletak pada kemurniannya, netralitas rasa, keamanan bagi peralatan, konsistensi mutu, serta kontribusinya terhadap efisiensi dan keberlanjutan dalam berbagai proses industri dan konsumsi terbatas.