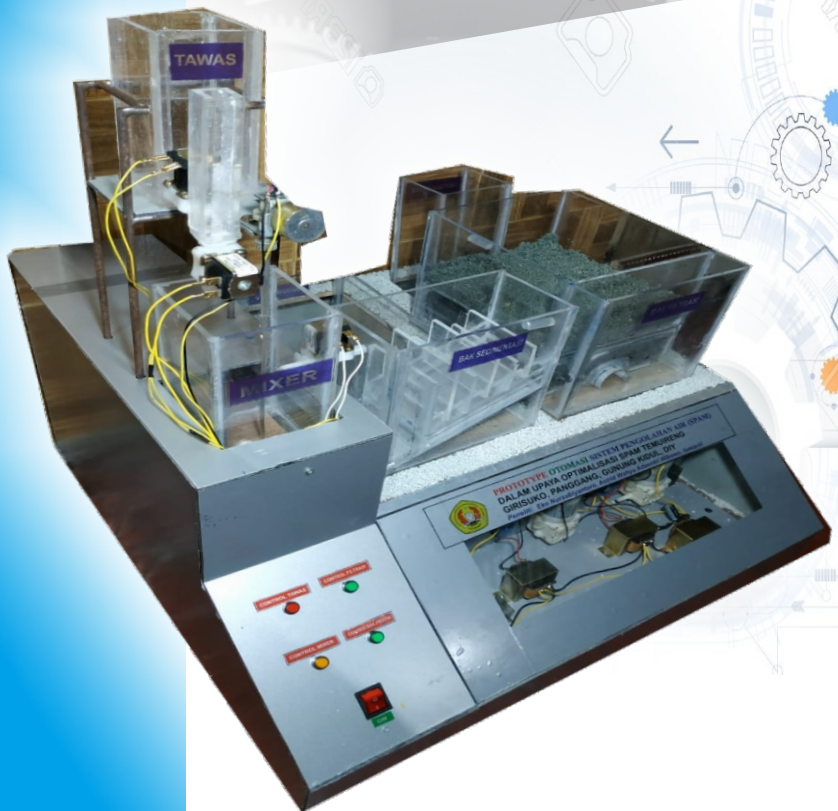


OTOMASI SISTEM PENGOLAHAN AIR



Eko Nursubiyantoro
Ismianti
Astrid Wahyu Adventri Wibowo

Otomasi Sistem Pengolahan Air

Penulis:

Eko Nursubiyantoro

Ismianti

Astrid Wahyu Adventri Wibowo

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Yogyakarta

OTOMASI SISTEM PENGOLAHAN AIR

Penulis : Eko Nursubiyantoro
Ismianti
Astrid Wahyu Adventri Wibowo

Copyright © 2020, pada penulis

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Nursubiyantoro, E., Ismianti, I., Wibowo, A.W.A.

Otomasi Sistem Pengolahan Air / Ed. I

Nursubiyantoro, E., Ismianti., I dan Wibowo, A.W.A –
Yogyakarta. 2020

viii + 84 ; 23 cm

ISBN 978-623-7840-15-2

Diterbitkan oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

UPN Veteran Yogyakarta

Jl. Pajajaran (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

e-Mail: lppm@upnyk.ac.id.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	3
1.2 Lokasi	4
1.3 Tujuan dan sasaran	6
1.4 Sistematika Penulisan Buku	7
BAB II KAJIAN TEORITIS	9
2.1 Sistem Pengolahan Air Minum	11
2.2 Otomasi	11
2.3 Sistem Pengolahan Air Minum dengan Otomasi	13
BAB III SISTEM PENGOLAHAN AIR MINUM	
DIBERBAGAI NEGARA	15
3.1 Kebutuhan air	17
3.2 Sistem Pengolahan Air Minum di Eropa	21
3.3 Sistem Pengolahan Air Minum di Amerika	
Serikat	25
3.4 Sistem Pengolahan Air Minum di Afrika	31
3.5 Sistem Pengolahan Air Minum di Australia	35
3.6 Sistem Pengolahan Air Minum di Asia	41
BAB IV METODE Riset	45
4.1 Survei	47
4.2 Studi literatur	47
4.3 Desain konsep produk	47
4.4 Desain Rinci	48
4.5 Prototyping	48
BAB V ANALISIS KONSEP DAN DESAIN	49
5.1 Gambaran umum kebutuhan masyarakat	51
5.2 Desain konsep produk	53
5.3 <i>Prototyping</i>	56
5.4 Rancangan prototipe	56
5.5 Prototipe otomasi Sistem Pengolahan Air	
Minum (SPAM) Temuireng.....	64

5.6 Analisis desain	65
5.7 Hasil uji rancangan prototipe	67
BAB VI PENUTUP	67
6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	77
GLOSARIUM	81
TENTANG PENULIS	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Lokasi Penelitian	5
Gambar 2.	Rencana Prototype Alat Pengolahan Air di Temuireng Pasca Pempompaan	7
Gambar 3.	Sistem Pengolahan Air	14
Gambar 4.	Siklus Hidrologi	19
Gambar 5.	Proporsi Air Minum yang Berasal dari Air Tanah, Air Permukaan, dan Desalinasi di Negara - Negara Eropa	22
Gambar 6.	Metode Desinfeksi yang Digunakan Dalam Produksi Air Minum	25
Gambar 7.	Kantor EPA di Washington, D.C.	27
Gambar 8.	Instalasi Pengolahan Air	29
Gambar 9.	Tantangan Sumber Air di Afrika	32
Gambar 10.	Ilustrasi <i>Shadouf</i> Tradisional	33
Gambar 11.	<i>Framework</i> untuk Manajemen Kualitas Air Minum	39
Gambar 12.	Seorang Anak Buang Air Besar di Tempat Terbuka	42
Gambar 13.	Pembuangan Limbah ke Sungai Bagmati di Kathmandu	42
Gambar 14.	Langkah-Langkah Penelitian	47
Gambar 15.	Pemanenan Air Hujan di Desa Temuireng, Gunung Kidul	51
Gambar 16.	Desain Konsep Produk Otomasi SPAM	54
Gambar 17.	Desain Konsep Produk dari Sugiarto et al.	54
Gambar 18.	Konsep Proses Desain Otomasi SPAM	55
Gambar 19.	Bak penampung koagulan (tawas)	57
Gambar 20.	Bak mixer (pencampur)	58
Gambar 21.	Bak Sedimentasi	59
Gambar 22.	Bak Filtrasi	60
Gambar 23.	Bak Produk	61
Gambar 24.	Pompa air mini	61
Gambar 25.	Solenoid valve	62
Gambar 26.	Panel kontrol prototipe otomasi SPAM	63
Gambar 27.	Prototipe otomasi SPAM Temuireng	65
Gambar 28.	Prototipe Otomasi SPAM	67
Gambar 29.	Pengurangan TDS di Setiap Proses	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Penggunaan Air di Berbagai Benua	21
Tabel 2.	Identifikasi Masalah dalam Mencapai Pasokan Air Minum yang Berkelanjutan di Negara-Negara Eropa	24
Tabel 3.	Jenis Pengolahan Air Minum Rumahan dan Fungsinya	30
Tabel 4.	Pabrik Desalinasi yang Terletak di Pusat Kota	37
Tabel 5.	Identifikasi Kebutuhan Masyarakat Desa Temuireng	53
Tabel 6.	Hasil uji kualitas air SPAM Temuireng	69
Tabel 7.	Hasil uji kualitas air olahan Prototipe SPAM Temuireng	69

KATA PENGANTAR

Buku yang berjudul "Otomasi Sistem Pengolahan Air" ini disusun berdasarkan pada hasil kajian akademik pada pelaksanaan kegiatan Penelitian Dosen Jurusan Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta yang dibiayai dengan dana hibah internal Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) UPN "Veteran" Yogyakarta. Buku ini fokus membahas tentang Teknologi rancangan otomasi prototype Sistem Pengolahan Air Minum (SPAM) Pedukuhan Temu Ireng, Kalurahan Girisuko, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Rancangan prototype otomasi SPAM dirancang berdasarkan sistem SPAM Temu Ireng yang pada saat penelitian ini dilakukan digunakan, dengan rancangan skala uji laboratorium. Rancangan prototype otomasi SPAM ini dipergunakan untuk mempelajari karakterisasi sistem pengolahan air di SPAM Temuireng, khususnya pengaruh otomasi peralatan SPAM terhadap hasil pengolahan SPAM sebelum dan setelah di otomasi.

Semoga apa yang sudah penulis susun dalam buku ini bermanfaat bagi semua pihak yang tertarik pada dunia teknologi otomasi, dan mampu memberikan inspirasi serta motivasi.

Penulis terbuka terhadap kritik maupun saran yang diberikan pembaca demi perbaikan dan penyempurnaan buku ini di masa datang. Akhir kata kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian di SPAM Pedukuhan Temu Ireng, Kalurahan Girisuko, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Yogyakarta, Februari 2020

Penulis

Eko Nursubiyantoro

Ismianti

Astrid Wahyu Adventri Wibowo



BAB I PENDAHULUAN

PEMERINTAH KABUPATEN GUNUNGKIDUL
PETA ADMINISTRASI



LEGENDA :

Marka Administratif :	Simbol Lain :
● Kota Kabupaten	□ Jalan
○ Kota Kecamatan	— Saluran Irigasi
□ Kota Desa	+ Gedung
□ Desa	□ Tugu

Peta dan Wilayah Administrasi

<ul style="list-style-type: none"> Daerah Istimewa Yogyakarta Kabupaten Gunungkidul Kecamatan Karanganyar Kecamatan Sukoharjo Kecamatan Karangasem Kecamatan Gedongrejo Kecamatan Karangmojo Kecamatan Pakel Kecamatan Pringsati Kecamatan Patuk Kecamatan Plered 	<ul style="list-style-type: none"> Kecamatan Satele Kecamatan Selo Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi Kecamatan Gunungapi Merapi
--	--



Bab ini memaparkan tentang latar belakang penelitian, lokasi penelitian, tujuan penelitian, serta sistematika penulisan buku.

1.1. Latar Belakang

Air merupakan senyawa kimia yang paling berlimpah di alam, namun demikian sejalan dengan meningkatnya taraf hidup manusia, maka kebutuhan air pun meningkat pula, sehingga akhir-akhir ini air menjadi barang yang "mahal" (Susana, 2003). Di sisi lain, resapan-resapan air yang menjadi sumber air sudah banyak berkurang untuk berbagai keperluan seperti perumahan, perkantoran, dan industri tanpa mempedulikan fungsinya sebagai simpanan air untuk masa depan. Sehingga seiring dengan berkembangnya jumlah penduduk yang semakin tumbuh pesat di bumi, maka kebutuhan air bersih juga semakin meningkat, sementara air bersih yang disediakan oleh alam semakin berkurang. Kelangkaan air dapat menyebabkan terganggunya kehidupan makhluk hidup itu sendiri (Sugiarto & Suharwanto, 2017). Di beberapa daerah di dunia terdapat daerah-daerah yang mengalami kelangkaan air bersih, khususnya di Negara berkembang (Sugiarto & Suharwanto, 2017). Gunung Kidul adalah salah satu daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia yang mengalami kesulitan memperoleh air (Evani, 2004).

Daerah Gunungkidul sebagai daerah dengan topografi karst yang terbentuk dari proses pelarutan batu gamping. Daerah tersebut sebagai bagian dari Pegunungan Sewu dimana Formasi Karst terdiri dari batuan karbonat dengan kelarutan dan laju infiltrasi yang tinggi. Air hujan yang jatuh di permukaan akan langsung meresap ke dalam tanah dan membentuk sungai-sungai bawah tanah. Hal ini menyebabkan sulitnya mendapatkan air bersih di permukaan terutama pada musim kemarau. Namun demikian karakteristik batuan karst yang unik, ketersediaan air bawah tanah sangat berlimpah dengan kualitas air yang baik di musim kemarau dan berangsur menurun di musim penghujan, bisa dinaikkan ke permukaan dengan menggunakan teknologi tepat guna (Nestmann et al., 2011). Secara umum pengolahan air untuk meningkatkan kualitas adalah proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi. Permasalahan tersebut telah dicoba dan diatasi dengan beberapa

teknologi pengolahan air minum dari sumber air sungai atau sumber baku lainnya.

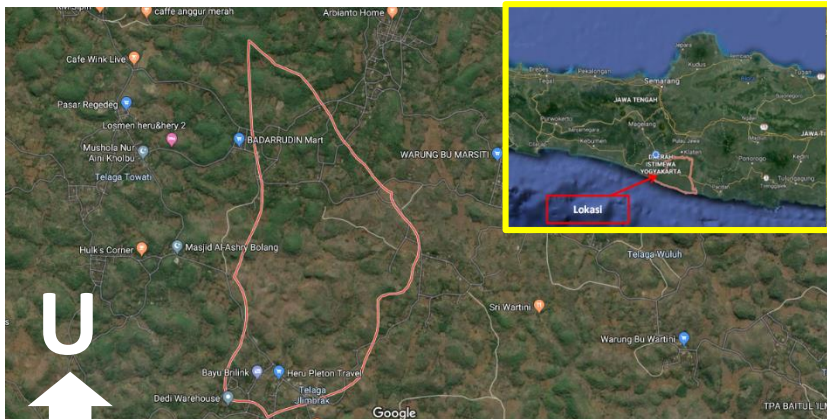
Sugiarto dan Suharwanto (2017) telah mengembangkan teknologi pengolahan air minum di Dusun Temuireng, Desa Girisuko, Panggang, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Di desa ini terdapat sekitar 269 kepala keluarga dengan rata-rata 4 jiwa setiap kepala keluarga, sehingga kurang lebih 1076 jiwa kebutuhan airnya harus dipenuhi. Penelitian yang dikembangkan oleh Sugiarto dan Suharwanto telah berhasil memenuhi kebutuhan air tersebut dengan pembangunan SPAM Temuireng yang telah di resmikan oleh Kemristek Dikti. Mekanisme SPAM tersebut saat ini khususnya pada proses pengolahan air masih menggunakan kerja semi manual, sehingga peran tenaga kerja masih dominan diperlukan untuk menjalankannya. Berdasarkan hal tersebut maka akan dilakukan penelitian dan pengembangan otomasi sistem proses pengolahan air minum secara terintegrasi. Sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini dapat diimplementasikan pada SPAM Temuireng, agar sistem pengolahan air dapat terotomasi dan pekerjaan yang dilakukan oleh operator lebih ringan dan terstruktur dengan baik.

1.2. Lokasi

Gunungkidul merupakan salah satu kabupaten di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Kecamatan Wonosari sebagai pusat pemerintahannya. Kabupaten ini berbatasan dengan Kabupaten Klaten dan Kabupaten Sukoharjo disebelah utara, Kabupaten Wonogiri di sebelah Timur, Samudra Hindia di sebelah selatan, dan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman di sebelah barat. Dengan luas area 1.485,36 km² dan dengan jumlah penduduk sebanyak 729.364 jiwa, Kabupaten Gunungkidul terbagi menjadi 18 kecamatan (Badan Pusat Statistik Propinsi D.I. Yogyakarta, 2018). Penelitian lapangan ini dilakukan di salah satu kecamatan yang ada di Gunungkidul, yaitu Temuireng Desa Girisuko, Kecamatan Panggang.

Kabupaten yang terletak di sebelah tenggara kota Yogyakarta ini didominasi oleh pegunungan yang merupakan bagian barat dari Pegunungan Sewu atau Pegunungan Kapur Selatan. Sebagian besar wilayah kabupaten ini berupa perbukitan dan pegunungan kapur, yakni

bagian dari Pegunungan Sewu, yang menandakan bahwa pada masa lalu merupakan dasar laut. Gunungkidul juga dikenal sebagai daerah tandus dan sering mengalami kekeringan di musim kemarau.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Berdasarkan kondisi topografinya Kabupaten Gunungkidul terbagi menjadi 3 zona pengembangan, yaitu zona utara, zona tengah, dan zona selatan. Zona utara meliputi kecamatan Patuk, Gedangsari, Nglipar, Ngawen, Semin, dan Kecamatan Ponjong bagian utara. Zona utara disebut wilayah Batur Agung dengan ketinggian 200 m – 700 m di atas permukaan laut. Keadaannya berbukit-bukit, terdapat sumber-sumber air tanah kedalaman 6 m-12 m dari permukaan tanah. Jenis tanah didominasi latosol dengan bataun induk vulkanik dan sedimen taufan. Zona tengah meliputi Kecamatan Playen, Wonosari, Karangmojo, Ponjong bagian tengah dan Kecamatan Semanu bagian utara. Zona Tengah disebut wilayah pengembangan Ledok Wonosari, dengan ketinggian 150 m - 200 mdpl. Jenis tanah didominasi oleh asosiasi mediteran merah dan grumosol hitam dengan bahan induk batu kapur. Sehingga meskipun musim kemarau panjang, partikel-partikel air masih mampu bertahan. Terdapat sungai di atas tanah, tetapi dimusim kemarau kering. Kedalaman air tanah berkisar antara 60 m - 120 m di bawah permukaan tanah. Zona selatan meliputi Kecamatan Saptosari, Paliyan, Girisubo, Tanjungsari, Tepus, Rongkop, Purwosari, Panggang, Ponjong bagian selatan, dan Kecamatan Semanu bagian selatan. Zona Selatan disebut wilayah pengembangan Gunung Seribu (Duizon

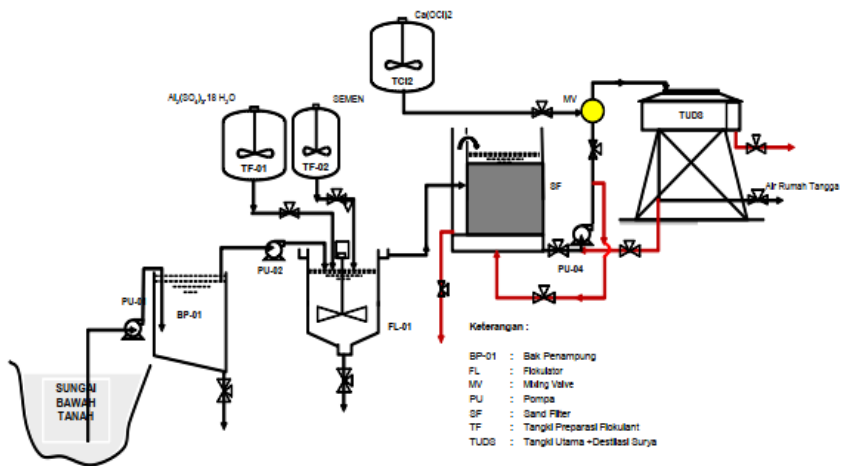
Gebergton atau Zuider Gebergton), dengan ketinggian 0 m - 300 mdpl. Batuan dasar pembentuknya adalah batu kapur dengan ciri khas bukit-bukit kerucut (Conical limestone) dan merupakan kawasan karst. Pada wilayah ini banyak dijumpai sungai bawah tanah.

Wilayah Kabupaten Gunungkidul termasuk daerah beriklim tropis, dengan topografi wilayah yang didominasi dengan daerah kawasan perbukitan karst. Wilayah selatan didominasi oleh kawasan perbukitan karst yang banyak terdapat goa-goa alam dan juga sungai bawah tanah yang mengalir. Dengan kondisi tersebut menyebabkan kondisi lahan di kawasan selatan kurang subur yang berakibat budidaya pertanian di kawasan ini kurang optimal.

1.3. Tujuan dan Sasaran

Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian yang telah dilakukan oleh Sugiarto & Suharwanto (2017) dengan proses pengolahan air minum sebagai berikut: air hasil pemompaan dari sumber air yang berasal dari pantai Baron dan atau goa Ngobaran dipompa secara bertahap hingga sampai ke lokasi Temuireng yang sudah ada. Air yang berada pada tanki reservoir Temuireng dialirkan ke unit pengolahan. Mula-mula air dipompa ke bak penampung sementara di lantai atas sehingga proses bisa dioperasikan secara gravitasi (untuk penghematan operasional cost). Selanjutnya dari bak sementara ini juga dialirkan menuju proses flokulasi untuk menurunkan kadar e-coli dan total coliform serta padatan terlarut menggunakan penggumpal alami (biji kelor atau tawas) dalam flokulator berpengaduk, disini jumlah ppm bahan koagulan ditentukan berdasar bahan yang akan diendapkan. Selanjutnya air yang telah diproses dalam flokulator dialirkan overflow secara seri ke bak pengendap 1 dan 2, untuk memberi kesempatan bahan mengendap dengan baik. Kemudian hasil pengendapan ini dialirkan secara *overflow* ke saringan pasir lambat, yang berisi bahan-bahan penyaring (zeolit dan arang) yang telah diaktivasi sebelumnya. Air produk olahan ini dianalisa lebih lanjut berdasar baku mutu, jika diperlukan (kandungan e-coli dan total coliform masih belum sesuai baku mutu) dilakukan klorinasi menggunakan kaporit pada bak penampung hasil filter sebelum ditampung pada bak distribusi. Namun jika sudah memenuhi syarat

baku mutu, air bisa dialirkan menuju penampung akhir/distribusi, siap untuk didistribusi ke warga. Bak atas juga bisa digunakan sebagai penampung alternatif, aliran menuju bak ini menggunakan spray paralel sehingga memungkinkan air teruapkan, bak ini juga dilengkapi dengan penutup kaca/akrilik/poikarbonat, yang berfungsi sebagai suplai energi sinar matahari. Diharapkan air yang menguap dapat terembunkan dan mengalir kearah talang aliran embun menuju penampung kondensat (merupakan produk air distilasi percik tenaga surya yang merupakan produk samping dari proses ini).



Gambar 2. Rencana Prototype Alat Pengolahan Air di Temuireng Pasca Pempompaan (Sugiarto & Suharwanto, 2017)

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengembangkan SPAM Temuireng yang sudah ada dengan menambahkan sistem otomatisasi pada proses pengolahan air minum secara terintegrasi. Sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini sistem pengolahan air dapat terotomasi dan pekerjaan yang dilakukan oleh operator lebih ringan dan terstruktur dengan baik.

1.4. Sistematika Penulisan Buku

Seperti yang telah diuraikan sebagaimana sebelumnya maka penelitian ini bertujuan untuk mengotomasi proses pengolahan air minum yang dilaksanakan pada SPAM Temuireng secara terintegrasi.

Sistematika penulisan dalam buku ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

BAB II Tinjauan Pustaka

BAB III Sistem Pengolahan Air Minum di Berbagai Negara

BAB IV Metodologi Penelitian

BAB V Pembahasan

BAB VI Penutup

2.1 Sistem Pengolahan Air Minum

Kualitas sumber air yang belum memenuhi standar baku merupakan alasan utama adanya sistem pengolahan air. Sistem pengolahan air telah diteliti, dikembangkan dan digunakan di berbagai daerah. Sistem pengolahan air ini bisa dilakukan dengan berbagai metode sesuai dengan kebutuhan dan kondisi sumber air. Salah satu sistem pengolahan air yang dikembangkan di Gunung Kidul untuk mengurangi bakteri E-coli, bahan organik (parameter coliform) serta bahan anorganik (parameter TDS) adalah dengan proses pengendapan, saringan pasir lambat, dan distalasi percik tenaga surya (Sugiarto & Suharwanto, 2017).

Sistem pengolahan ini mampu menurunkan TDS dari 400 ppm hingga di bawah 160 ppm. Sistem pengolahan air yang lain dilakukan dengan aerasi, filtrasi, adsorpsi, dan desinfeksi (Wiyono, Faturrahman, & Syauqiah, 2017). Namun, pada sistem ini desain alat kurang efektif karena kualitas air yang dihasilkan belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

2.2 Otomasi

Perkembangan teknologi terutama dibidang elektronika dan teknologi ICT sangat berpengaruh terhadap proses produksi di industri. Tantangan yang dihadapi oleh industri adalah bagaimana cara untuk meningkatkan jumlah produksi namun akurasi produk dan ketelitian sebagai tuntutan kualitas juga harus terpenuhi. Untuk menjawab tantangan tersebut tidak mungkin bila dunia industri mengandalkan kemampuan manual dan menggantungkan produksi dari sumber daya manusia yang memiliki keterbatasan ketahanan bekerja dalam waktu yang lama dan terus-menerus. Maka dari itu pemilihan penggunaan sarana dan peralatan sangat penting dalam kegiatan industri, dari mengolah bahan baku hingga menjadi barang jadi yang mempunyai nilai jual. Penggunaan tenaga mesin, yang secara otomatis melakukan dan mengatur pekerjaan, sebagai ganti tenaga manusia mulai dilakukan di dunia industri. Sistem otomasi ini bersifat universal dan fleksibel sehingga dapat dimanfaatkan oleh industri kecil sampai dengan industri besar di segala bidang dengan cakupan pemakaiannya sangat luas dan beragam (Putranto et al., 2008).

Otomasi adalah teknologi yang dapat melakukan serangkaian proses secara otomatis tanpa adanya bantuan manusia. Hal ini diimplementasikan dengan menggunakan program instruksi dikombinasikan dengan sistem kontrol. Dalam otomatisasi, daya dibutuhkan untuk mendorong proses dan untuk mengoperasikan program dan sistem kontrol (Groover, 2008). Secara umum, sistem otomasi dapat didefinisikan sebagai integrasi dari mekanika, sistem kelistrikan, dan sistem komputer yang dapat menggantikan peran manusia dalam suatu proses. Otomasi dapat bekerja untuk kegiatan yang berulang-ulang dan aktivitas yang tidak dapat dilakukan oleh manusia (Fauzan, 2015). Penerapan teknologi otomasi digunakan dalam dunia industri agar dapat meningkatkan akurasi, presisi, dan produktivitas dari suatu proses industri, yang ditandai dengan meningkatnya jumlah dan kualitas keluaran yang dihasilkan (Ebel et al, 2008). Sehingga ada beberapa pendekatan yang digunakan dalam penerapan sistem otomasi, salah satunya adalah pendekatan The USA Principle:

1. *Understand the Existing Process*

Pada tahap ini, proses eksisting harus dipahami dengan baik dan detail. Dimulai dari input, proses, output yang terjadi di antara input dan output, serta fungsi dari setiap proses.

2. *Simplify the Process*

Setelah proses keadaan awal dipahami dengan baik, langkah selanjutnya adalah menyederhanakan proses. Proses pada keadaan awal dikaji lebih lanjut, apakah dapat dihilangkan atau digabungkan tanpa menghilangkan fungsi dari proses itu sendiri.

3. *Automate the Process*

Langkah terakhir adalah penerapan otomasi pada proses tersebut

Banyak penelitian tentang otomasi di industri telah dilakukan. Mandala et al., (2015) mengamati bahwa pada proses eksisting penggilingan teh hitam orthodox masih banyak memerlukan operator dalam pengoperasiannya sehingga dapat menyebabkan terjadinya faktor *human error*. Pencapaian produksi pun belum mampu memenuhi rencana kerja dan anggaran produksi (RKAP) berdasarkan permintaan pasar. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk membuat sistem

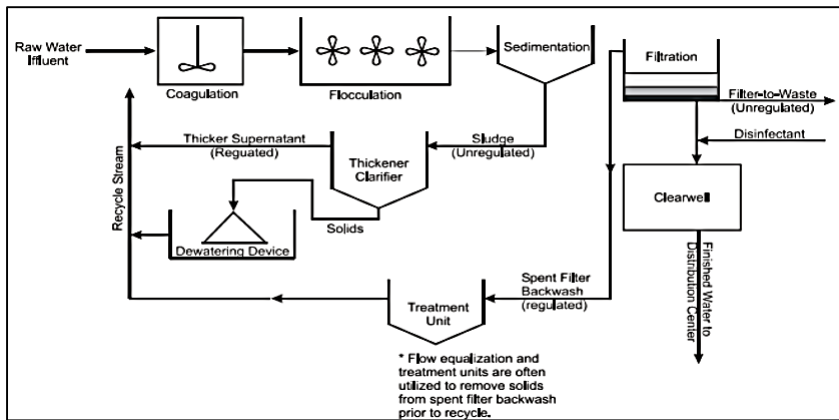
pengendali otomatis pada stasiun kerja penggilingan menggunakan *Programmable Logic Controlles* (PLC) dan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai tampilan antarmuka (sistem pemantauan secara *online* dan *real time*). Program PLC yang telah dirancang akan diintegrasikan ke dalam sebuah *mini plant* untuk membuat sistem otomasi yang bekerja secara terintegrasi dan berbasis kabel (*wireline*). PLC langsung dihubungkan dengan HMI, sehingga dapat langsung melakukan proses monitoring terhadap jalannya sistem untuk mengetahui data yang dihasilkan.

Afrino, Triwiyatno, dan Sumardi (2017) melakukan penelitian untuk merancang sistem otomasi berbasis PLC Omron CPM1A pada *prototype* alat pengolah susu murni menjadi susu pasteurisasi aneka rasa. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem otomasi pada *prototype* alat pengolah susu murni menjadi susu pasteurisasi aneka rasa berhasil dirancang dengan menggunakan PLC Omron CPM1A. Pada sistem ini masih terdapat beberapa kekurangan, seperti belum terdapat sistem yang dapat melakukan pembersihan alat pengolah susu secara otomatis setelah digunakan, sehingga dapat dikembangkan lebih luas.

2.3 Sistem Pengolahan Air Minum dengan Otomasi

Industri pengolahan air minum merupakan salah satu contoh dari otomasi tipe tetap. Beberapa penelitian mengenai otomasi industri pengolahan air minum yang telah dilakukan yaitu penelitian tentang sistem kontrol kran solenoid berbasis *Radio Frequency Identification* (RFID) pada sistem layanan air minum desa (Nurhayata & Santiyadnya, 2016). Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk memperbaiki sistem pembayaran layanan air minum desa dengan menerapkan sistem Prabayar melalui identifikasi pelanggan berbasis RFID. Hasil penelitian menunjukkan sistem kontrol mampu secara otomatis mengidentifikasi nomor kartu RFID pelanggan dan mengaktifkan kran solenoid hanya jika nomor kartu pelanggan telah terdaftar pada sistem dan pulsa airnya masih mencukupi. Disamping itu, sistem kontrol secara otomatis mampu mengatur volume air yang keluar sesuai dengan tarif air yang telah ditentukan (Nurhayata & Santiyadnya, 2016).

Beberapa kajian mengenai otomasi pada sistem pengolahan air minum telah dilakukan di berbagai negara. Namun, penerapan dari otomasi dalam sistem pengolahan air masih terbatas. Padahal otomasi dalam sistem pengolahan air dapat meningkatkan produktivitas, menjaga kualitas air, mengurangi *downtime*, serta menurunkan *operating cost* (Dubey, Agarwal, Gupta, Dohare, & Upadhyaya, 2017). Otomasi dalam sistem pengolahan air dapat dilakukan pada beberapa titik. Proses pengolahan air minum secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Pengolahan Air (Xia, Liu, Yang, & Wang, 2012)

Gowtham, Varunkumar, dan Tulsiram (2014) melakukan penelitian di India terkait otomasi distribusi air minum menggunakan PLC dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. Setelah otomasi diterapkan, sistem distribusi air semakin efektif dan efisien terlihat dari kecepatan pendistribusian air dan berkurangnya pemborosan air. Penggunaan PLC dan SCADA digunakan untuk memantau dan mengontrol keseluruhan sistem distribusi air dari kantor pusat.

3.1 Kebutuhan Air

Air merupakan unsur penting bagi makhluk hidup yang ada di bumi. Manusia, hewan, tumbuhan hingga mikroorganisme pasti membutuhkan air karena bagian terbesar penyusun tubuh makhluk hidup adalah air. Begitu juga dengan usaha untuk melangsungkan kehidupan dan berkembang, air juga memegang peranan penting. Beberapa manfaat air yaitu sebagai bahan pembersih, bahan pelarut zat, alat pengangkut zat, dan media kerja enzim jika ditinjau dari bidang kesehatan. Untuk bidang industri, pembangkit listrik memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi. Di bidang pertanian, air berguna untuk pengairan sawah, ladang, dan perkebunan. Tumbuhan bergantung pada air sebagai bahan fotosintesis dan alat pengangkut zat hara yang diserap dari tanah lewat akar-akarnya. Jika kekurangan air, tumbuhan akan memberikan respon berupa layu pada daun.

Wardhana (1999) telah menjabarkan kebutuhan air per orang per hari sebanyak 150 liter yang digunakan untuk minum sebanyak 2 liter, memasak dan kebersihan dapur sebanyak 14,5, mandi dan kakus sebanyak 20 liter, cuci pakaian sebanyak 13 liter, wudhu sebanyak 15 liter, kebersihan rumah sebanyak 32 liter, menyiram tanaman sebanyak 11 liter, mencuci kendaraan sebanyak 22,5 liter, dan lain-lain sebanyak 20 liter. Untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, air dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti air hujan (*rain water*), air permukaan (*surface water*), air tanah (*ground water*), dan air laut (*seawater*) (Susana, 2003).

Pemanfaatan sumber air yang berasal dari air hujan biasa dilakukan di daerah-daerah yang tidak mendapatkan air tanah, atau walaupun tersedia air tapi tidak dapat digunakan (Susana, 2003). Air hujan biasanya ditampung dari atap rumah, kemudian disalurkan ke tempat penyimpanan seperti tong, bak, atau kolam. Sumber air tersebut mengandung banyak bahan-bahan yang berasal dari udara seperti gas-gas (oksigen, nitrogen, karbon dioksida), asam-asam kuat yang berasal dari gas buangan industri tertentu dan partikel-partikel radioaktif (Schroeder, 1977). Sumber air yang berasal dari air hujan harus direbus terlebih dahulu apabila ingin digunakan sebagai air minum, karena atap

penampungan dapat dicemari oleh partikel-partikel debu, kotoran burung, dan berbagai kotoran lainnya.

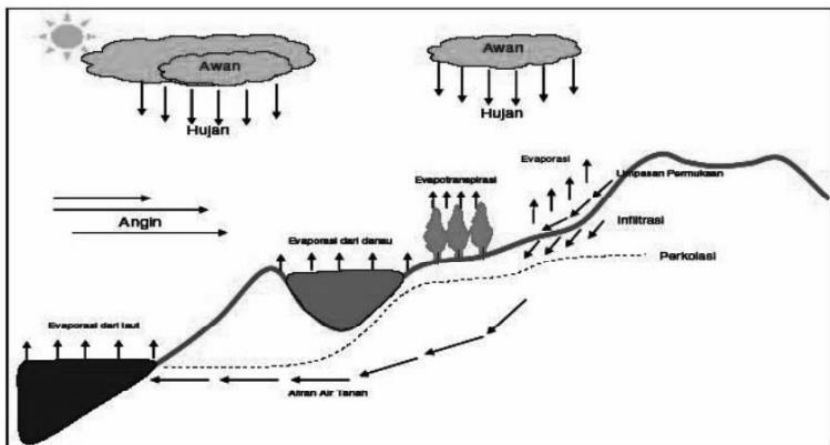
Air permukaan (*surface water*) adalah semua air yang terdapat di permukaan bumi seperti parit, selokan, sungai, danau, dan lain sebagainya. Pada umumnya air permukaan mengandung kotoran berupa benda-benda terapung yang berasal dari lingkungan sekitarnya, benda-benda padat tersuspensi, bakteri, buangan bahan, kimia, dan sebagainya. Kumpulan berbagai kotoran tersebut menimbulkan berbagai bau dan rasa, sehingga bila air tersebut akan digunakan untuk kepentingan hidup manusia perlu perlakuan/tindakan pembersihan lengkap secara bertahap, teknik pembersihannya tergantung dari macam dan jumlah kotoran yang dikandungnya (Schroeder, 1977). Namun air permukaan yang ada di pegunungan pada umumnya relatif tidak begitu kotor jika dibandingkan dengan air sungai sehingga melalui penyimpanan yang lama serta proses klorinasi saja air sudah dapat dimanfaatkan.

Sumber air yang berada di dalam tanah disebut dengan air tanah (*ground water*). Pada umumnya air tanah mengandung bahan mineral larut yang terdiri dari kation (Ca, Mg, Mn, dan Fe) dan anion (SO_4 , CO_3 , HCO_3 dan Cl) (Susana, 2003). Kadar ion-ion tersebut bervariasi, tergantung kepada sifat dan kondisi tanah setempat, semakin dalam air tanah yang diambil semakin tinggi kadar ion-ion tersebut (Bolt, 1967). Sumber air inilah yang banyak digunakan untuk kebutuhan sehari-hari karena tidak banyak terkontaminasi oleh lingkungan sekitarnya.

Jumlah air yang terdapat di bumi ini cukup banyak, persentasenya mencapai 71 % dari luas permukaan bumi. Dari sejumlah itu permukaan bumi sebagian besar ditutupi oleh air laut, yaitu sekitar dua-per-tiga (70 %) permukaan bumi. Luas keseluruhan wilayah laut yang menutupi bumi adalah $3,61 \times 10^8$ km², dengan kedalaman rata-rata 3800 m. Jadi air laut merupakan 97 % dari jumlah air yang ada di bumi dan bagian terbesarnya terdapat di belahan bumi Selatan (Ross, 1970). Pada umumnya air laut relatif murni, sehingga dapat berfungsi sebagai pelarut bagi zat kimia, baik yang berwujud padat, cair maupun gas (Susana, 2003).

Air laut juga dapat digunakan sebagai sumber air tawar bila sumber-sumber air tawar tidak dapat diperoleh lagi. Namun air laut harus melewati proses desalinasi terlebih dahulu, yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu destilasi, elektro dialisa, osmosis/hiperfiltrasi dan sebagainya.

Semua air yang ada di bumi baik itu air hujan, air permukaan, air tanah, dan air laut mengalami proses daur ulang yang disebut dengan siklus hidrologi. Selama berlangsungnya Siklus hidrologi, yaitu perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah habis, air akan tertahan (sementara) di sungai, danau/waduk, dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk lain (Asdak, 1995).



Gambar 4. Siklus Hidrologi (Kusumadewi, Djakfar, & Bisri, 2012)

Jumlah air yang terdapat di muka bumi ini relatif konstan, meskipun air mengalami pergerakan arus, tersirkulasi karena pengaruh cuaca dan juga mengalami perubahan bentuk. Sirkulasi dan perubahan bentuk tersebut antara lain melalui air permukaan yang berubah menjadi uap (evaporasi), air yang mengikuti sirkulasi dalam tubuh tanaman (transpirasi) dan air yang mengikuti sirkulasi dalam tubuh manusia dan hewan (respirasi). Air yang menguap akan terkumpul menjadi awan kemudian jatuh sebagai air hujan. Air hujan ada yang langsung

bergabung di permukaan, ada pula yang meresap masuk ke dalam celah batuan dalam tanah, sehingga menjadi air tanah. Air tanah dangkal akan diambil oleh tanaman, sedangkan air tanah dalam akan keluar sebagai mata air. Sirkulasi dan perubahan fisis akan berlangsung terus sampai akhir zaman (Ross, 1970).

Limbah manusia atau hewan, industri bahan kimia, obat-obatan, dan jenis polutan lainnya terkadang mencemari air sungai, danau, air bawah tanah, dan sumber lainnya. Seiring dengan berkembangnya teknologi, insinyur dan ilmuwan telah mengembangkan solusi inovatif untuk membuat air minum yang aman dikonsumsi. Instalasi pengolahan air permukaan secara konvensional paling banyak digunakan di negara berkembang, dengan urutan proses sebagai berikut (The National Academies, 2008):

- a. Koagulasi: setelah menyaring benda-benda besar yang terbawa oleh air, bahan kimia koagulan ditambahkan supaya terjadi pengumpulan partikel-partikel yang tersuspensi.
- b. Sedimentasi: air bergerak ke dalam bak sedimentasi yang tenang di mana terjadi proses pengendapan endapan.
- c. Filtrasi : air dialirkan melalui pasir, membran, atau bahan lainnya.
- d. Disinfeksi : bahan tambahan kimia, ozon, atau sinar ultraviolet digunakan untuk disinfeksi. Bahan kimia atau proses lain mungkin juga digunakan untuk menghilangkan kontaminan tertentu, untuk mencegah korosi sistem distribusi, atau untuk mencegah kerusakan gigi.

Meskipun instalasi pengolahan air secara konvensional sudah menghasilkan air yang memenuhi standar kualitas air, ada beberapa orang yang memilih untuk menggunakan tambahan perangkat pemurnian air di rumah mereka untuk meningkatkan kualitas warna air, rasa, atau untuk menghilangkan konstituen lainnya.

Sumber air diberbagai negara juga ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk jumlah air yang diterima dari presipitasi, aliran air yang ada di sungai (*inflow* dan *outflow*), dan jumlah air yang hilang saat evaporasi dan transpirasi (evaporasi air melalui tanaman). Faktor-faktor tersebut bergantung pada letak geografi, geologi, dan iklim.

Berdasarkan Tabel 1, benua Asia merupakan pengguna air terbesar, kemudian disusul oleh Amerika Utara, Eropa, Afrika, dan Amerika Latin. Pada bagian ini akan dibahas mengenai sistem pengolahan air minum di berbagai dunia.

Tabel 1. Penggunaan Air di Berbagai Benua (Clarke, 1993)

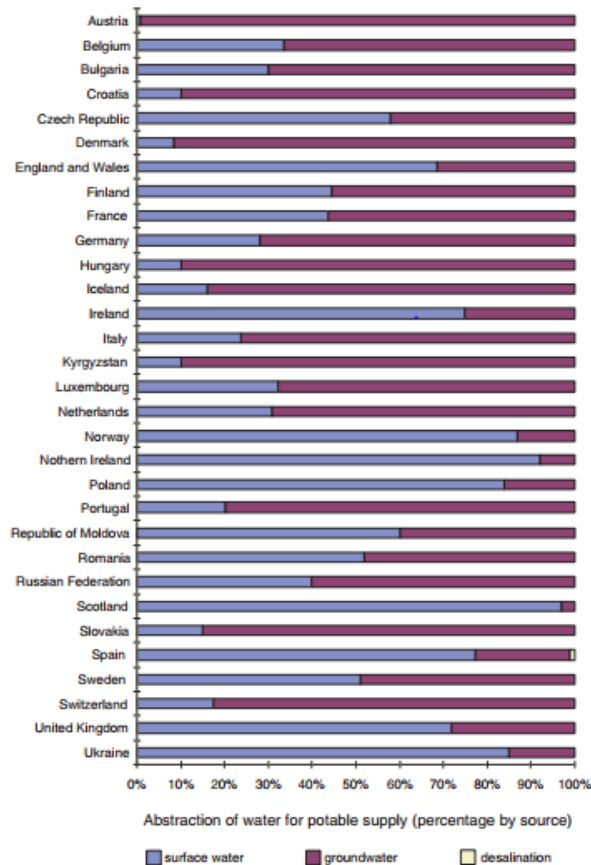
Continent	Kubik kilometer per tahun					
	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Afrika	56	86	116	168	232	317
Asia	865	1.237	1.543	1.939	2.478	3.187
Amerika Latin	59	63	85	111	150	216
Amerika Utara	286	411	556	663	724	796
Eropa	94	185	294	435	554	673
Total	1.360	1.982	2.594	3.316	4.138	5.189

3.2 Sistem Pengolahan Air Minum di Eropa

Air tawar didapat dari air tanah dan air permukaan untuk berbagai keperluan. Di beberapa negara, seperti Albania, Denmark, dan Turkmenistan, hampir semua air minum diperoleh dari air tanah, sedangkan di negara lain mayoritas berasal dari air permukaan (World Health Organization Regional Office for Europe, 2002). Di sebagian besar Latvia, lebih dari 50% air minum berasal dari air tanah. Sekitar 50% dari populasi pedesaan di Latvia menggunakan poros atau bingkai sumur dangkal (tidak lebih dari 10-15 m). Sebaliknya, di Inggris dan Norwegia sebagian besar air minum berasal dari air permukaan, masing-masing 72% dan 87%. Di Swedia, kota terbesar yang menggunakan air permukaan, tetapi secara nasional 50% dari populasi yang terhubung ke wilayah kota menggunakan air permukaan, 25% menggunakan air permukaan yang telah melewati kerikil, dan 25% menggunakan air tanah sebagai air minum. Di Estonia 60% air minum diperoleh dari air permukaan atau sumur dangkal dan 40% berasal dari sumber air tanah dalam (Roukas, 1996). Proporsi air minum yang berasal dari air tanah, air permukaan, dan desalinasi di negara-negara Eropa dapat dilihat pada Gambar 5.

Sebagian besar pasokan air publik di Eropa dan negara lain di bagian barat ingin mempertahankan pasokan air secara berkelanjutan. Sejumlah negara di Eropa bagian tengah dan timur, termasuk beberapa

negara bagian yang baru merdeka, juga menyediakan pasokan air publik yang berkelanjutan.



Gambar 5. Proporsi Air Minum yang Berasal dari Air Tanah, Air Permukaan, dan Desalinasi di Negara-Negara Eropa (World Health Organization Regional Office for Europe, 2002)

Namun demikian, beberapa daerah di sejumlah negara Eropa tidak menerima pasokan air secara lancar atau terus-menerus (musiman). Pasokan air yang tidak lancar dapat berimplikasi terhadap kesehatan manusia yang sebanding dengan yang tidak ada airnya. Hal ini diperburuk jika gangguan tidak dapat diprediksi atau tidak diumumkan. Ketidاكلancaran pasokan air sering disebabkan oleh desain yang buruk,

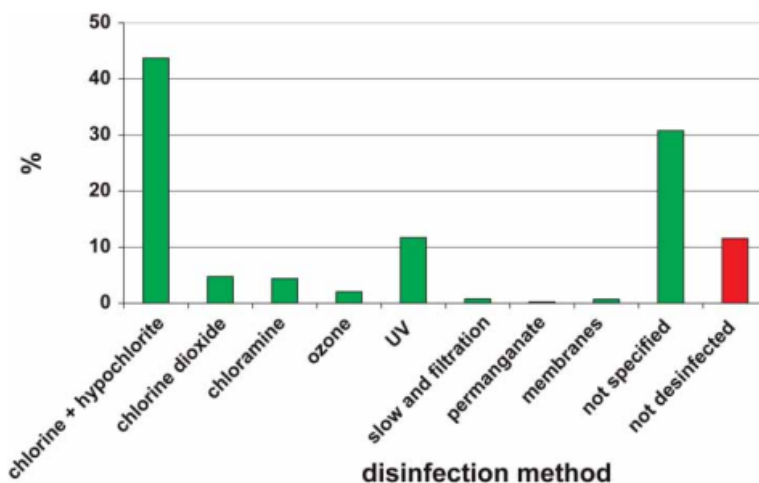
kondisi saluran air, dan tidak memadainya operasi, pemeliharaan, pengelolaan. Faktor keuangan dan pasokan listrik mungkin juga dapat menjadi penyebab terganggunya pasokan air karena dapat menghambat pemompaan dan pengolahan air yang terus- menerus. Beberapa negara di Eropa yang melaporkan bahwa pasokan air minumannya tidak lancar adalah Albania, Islandia, Italia, Malta, Republik Moldova, Rumania, Slovenia, Turki, dan Turkmenistan.

Di benua Eropa, 71% air minum yang dihasilkan dari air tanah dan 47% air minum yang dihasilkan dari air permukaan tidak diolah atau diolah dengan sistem yang konvensional (Hoek, Bertelkamp, Verliefde, & Singhal, 2014). Kualitas air minum juga dapat terancam (melalui rekontaminasi) ketika proses klorinasi tidak lancar. Albania, Armenia, Estonia, Yunani, Lithuania, Republik Moldova, Rumania, Turkmenistan, dan Ukraina melaporkan bahwa terdapat beberapa masalah terkait kualitas air (World Health Organization Regional Office for Europe, 2002). Pengolahan air yang tidak memadai, terutama disinfektan merupakan masalah khusus dalam persediaan kecil. Banyak saluran air kecil di Norwegia, misalnya, tidak memiliki desinfeksi yang memadai, dan masalah kontaminasi mikroba dilaporkan dalam persediaan kecil di wilayah Wallonia Belgia karena klorinasi yang terputus-putus atau tidak ada desinfeksi. Di Polandia, klorinasi adalah metode utama untuk membersihkan air. Klorin dioksida digunakan secara luas di Perancis, Jerman, dan Italia, tetapi ozon lebih disukai di beberapa tempat di Perancis dan Jerman dan sangat umum di Belanda (World Health Organization Regional Office for Europe, 2002). Gambar 6 menunjukkan metode yang digunakan untuk disinfektan, terkait dengan total produksi air minum. Hampir seluruh produksi air minum (88%) telah diterapkan metode desinfeksi, bahkan dalam beberapa kasus banyak metode desinfeksi dapat diterapkan dalam satu proses perawatan (Hoek et al., 2014). Seperti yang dapat dilihat di Gambar 6, desinfeksi berdasarkan produk klorin (klorin, hipoklorit, klor dioksida, kloramin) paling banyak digunakan

Tabel 2. Identifikasi Masalah dalam Mencapai Pasokan Air Minum yang Berkelanjutan di Negara-Negara Eropa (World Health Organization Regional Office for Europe, 2002)

Negara	Masalah dalam Mencapai Pasokan Air Minum yang Berkelanjutan
Albania	Pasokan air disediakan secara berkala selama beberapa jam setiap hari (1-3 kali per hari atau 1-3 jam per hari). Gangguan terjadi sepanjang tahun, dan berdampak pada 100% populasi. Manajemen yang buruk, tingkat perawatan yang rendah, dana yang terbatas untuk memperbaiki kerusakan, ketersediaan peralatan yang buruk, dan meningkatnya permintaan untuk melancarkan pasokan air.
Islandia	Tidak ada masalah yang besar, namun beberapa masalah regional bisa terjadi.
Italia	Diperkirakan 18% rumah tangga menderita kekurangan air, 8% terjadi di bagian timur laut dan 30% terjadi di pulau-pulau.
Latvia	Ketidaklancaran pasokan listrik (selama keadaan darurat) dan tidak tersedianya peralatan.
Malta	Meskipun semua daerah perkotaan pasokan air minumnya lancar (kecuali pada saat mati listrik), beberapa gedung baru harus menggunakan tanker air karena belum terhubung ke jaringan air minum.
Republik Moldova	Pasokan air sering terganggu, terutama daerah pedesaan, desa, dan kota kecil. Sekitar 75% dari populasi terdampak. Masalah meliputi pasokan listrik yang tidak lancar, kekurangan air, masalah keuangan, dan ketersediaan peralatan yang buruk.
Rumania	Masalah termasuk pengembangan perkotaan tanpa fasilitas yang memadai, pertimbangan keuangan, kekurangan dalam sistem jaringan, dan kapasitas penyimpanan yang rendah.
Slovenia	Hampir 120.000 orang mengalami gangguan pasokan. Gangguan paling sering terjadi saat musim panas dan di wilayah pedesaan. Kesulitan organisasi dan masalah finansial menjadi penyebab paling umum.

Negara	Masalah dalam Mencapai Pasokan Air Minum yang Berkelanjutan
Turki	Ketidaklancaran pasokan dilaporkan di beberapa area.
Turkmenistan	Distribusi air dilakukan secara berselang dengan 3 periode pengiriman (masing-masing 2 jam) yang dijadwalkan setiap hari.



Gambar 6. Metode Desinfeksi yang Digunakan Dalam Produksi Air Minum (Hoek et al., 2014)

3.3 Sistem Pengolahan Air Minum di Amerika Serikat (AS)

Orang-orang di Amerika Serikat (AS) beruntung memiliki sistem distribusi air yang canggih untuk menyediakan akses air secara terus-menerus di rumah tangga melewati keran. Namun, mempertahankan sistem distribusi ini merupakan tantangan besar karena banyak infrastruktur fisik yang terlibat seperti hampir 1 juta mil pipa dan tak terhitung jumlah pompa, katup, tangki penyimpanan, waduk, serta perlengkapan dan peralatan hidrolik lainnya.

Sekitar 90% sistem air publik di AS berasal dari air tanah. Namun, karena sistem yang dilayani oleh air tanah cenderung jauh lebih kecil daripada sistem yang dilayani oleh air permukaan, hanya 34% orang Amerika (101 juta) yang dipasok dengan air tanah, sementara 66% (195 juta) dipasok dengan air permukaan (United States Environment Protection Agency, 2009).

Boston, New York, San Francisco, Denver, Portland, dan Oregon adalah kota-kota besar di AS yang tidak perlu mengolah sumber air permukaan menggunakan disinfektan karena lokasi sumber air yang terletak di hulu sungai yang sangat alami dan murni. Boston menerima sebagian besar airnya dari Waduk Quabbin, Waduk Wachusett, dan Sungai Ware di Massachusetts bagian tengah dan barat. Pasokan air di New York dialiri oleh 5.200 km² air yang berasal dari Pegunungan Catskill. San Francisco memperoleh 85% air minunya dari lelehan salju Sierra melalui Waduk Hetch Hetchy di Taman Nasional Yosemite. Namun, untuk menambah pasokan air yang diimpor, dan untuk membantu menjaga pengiriman air minum jika terjadi gempa bumi besar, kekeringan, atau penurunan kantung salju, San Francisco mempertimbangkan penggunaan sumber air berkelanjutan yang diproduksi secara lokal dan berkelanjutan seperti air reklamasi untuk irigasi, air tanah setempat dan desalinasi selama periode kekeringan, semuanya sebagai bagian dari *Water Supply Diversification Program*. Sumber pasokan air terbesar untuk Portland dan Oregon adalah daerah aliran Sungai Bull Run. Dan Denver menerima pasokan air hampir seluruhnya dari lelehan salju gunung di sejumlah daerah aliran sungai yang dilindungi di lebih dari 9 wilayah. Kemudian air disimpan di 14 waduk, yang terbesar adalah Waduk Dillon.

Safe Drinking Water Act (SDWA) adalah undang-undang federal pertama yang mewajibkan air minum standar untuk semua sistem air publik dan telah disahkan pada kongres 1974. Di bawah undang-undang tersebut, *Environmental Protection Agency* (EPA) bertugas untuk mengatur kualitas air standar pada kontaminan tertentu, seperti arsenik atau merkuri, dalam sistem air publik (The National Academies, 2008). Undang-undang tersebut telah diamandemen sejak 1974 untuk menetapkan sasaran sebagai standar kontaminan tambahan. Contoh regulasi yang diatur oleh SDWA aturan timbal dan tembaga yang bertujuan untuk mengurangi kadar logam yang mengalir melalui keran dan menetapkan jumlah bakteri *coliform* yang ada dalam air minum. Saat ini, 87 bahan kimia, disinfektan, dan produk sampingan desinfeksi, bahan kimia radioaktif, dan mikroorganisme dipantau kepatuhannya dengan standar EPA. EPA menerbitkan daftar

kontaminan kimia dan mikroba yang tidak diregulasi, yang diketahui atau diantisipasi terjadi dalam sistem air publik, setiap lima tahun sekali.



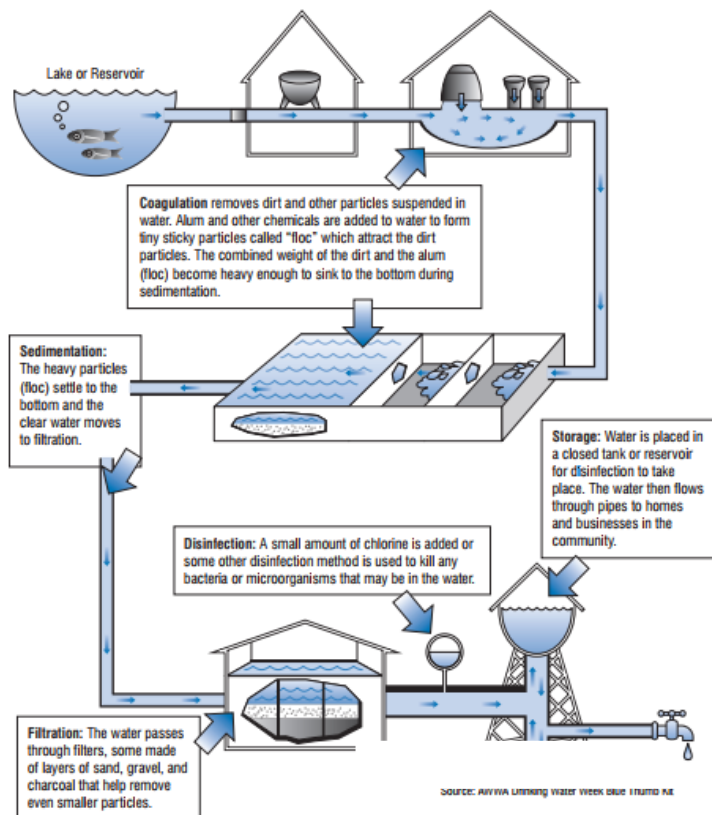
Gambar 7. Kantor EPA di Washington, D.C. (“EPA Building,” 2019)

SDWA mengotorisasi negara bagian dan suku yang ada di sana untuk memikul tanggung jawab utama dalam pengawasan dan penegakan pengaturan sistem air publik. Sistem air publik harus memenuhi standar federal, tetapi dilain sisi negara bagian juga dapat memberlakukan aturan tambahan. Ada banyak peraturan tambahan yang berbeda untuk mengatur air minum. Namun secara umum, peraturan regulasi kualitas lingkungan dan air minum adalah tanggung jawab Departemen Kesehatan atau Lingkungan negara bagian, bersama dengan EPA. Secara umum, peraturan negara juga menetapkan kode pipa ledeng untuk menentukan bagaimana sistem distribusi dirancang, dibangun, dioperasikan, dan dipelihara.

Utilitas pengolahan air hampir 34 miliar galon air setiap hari (United States Environment Protection Agency, 2009). Jumlah dan jenis perawatan yang diterapkan bervariasi yang berdasarkan pada sumber dan kualitas air. Secara umum, sistem air permukaan membutuhkan lebih banyak perawatan daripada sistem air tanah karena langsung terpapar ke atmosfer dan limpasan dari hujan serta salju yang mencair. Pemasok air menggunakan berbagai proses pengolahan, proses yang diterapkan secara berurutan, untuk menghilangkan kontaminan dari air minum. Proses yang paling umum digunakan termasuk koagulasi (flokulasi dan sedimentasi), filtrasi, dan desinfeksi. Beberapa sistem air juga menggunakan ion pertukaran dan adsorpsi. Kombinasi pengolahan air yang tepat juga dapat dijalankan untuk menghilangkan kontaminan yang ada di sumber air. Semua sumber air minum mengandung beberapa kontaminan yang terjadi secara alami. Pada level rendah, kontaminan ini umumnya tidak berbahaya bila dikonsumsi. Menghilangkan semua kontaminan akan sangat mahal, dan sebagian besar kasus, tidak akan memberikan peningkatan perlindungan kesehatan masyarakat (United States Environment Protection Agency, 2009). Beberapa mineral yang terjadi secara alami sebenarnya dapat meningkatkan rasa air minum dan bahkan memiliki nilai gizi level rendah.

Pada proses koagulasi terdapat 2 tahap yaitu flokulasi dan sedimentasi. Pada tahap flokulasi akan dihilangkan kotoran dan partikel lain yang tersuspensi dalam air. *Alum* dan garam besi atau polimer organik sintetik ditambahkan ke dalam air membentuk partikel kecil dan lengket, disebut *floc*, yang akan menarik kotoran. Kemudian partikel yang mengalami flokulasi kemudian mengendap dan keluar dari air secara alami, yang kemudian disebut dengan proses sedimentasi. Proses selanjutnya adalah penyaringan, banyak fasilitas pengolahan air menggunakan filtrasi untuk semua partikel dan air. Partikel-partikel itu termasuk tanah liat, bahan organik alami, endapan dari proses pengolahan lain, besi dan mangan, dan mikroorganisme. Desinfeksi air minum dianggap salah satu kemajuan kesehatan masyarakat di abad 20. Air sering didesinfeksi sebelum memasuki sistem distribusi untuk memastikan bahwa kontaminan mikroba yang berbahaya terbunuh. Klorin, klorinat, atau klorin dioksida paling sering digunakan karena

dinilai sangat efektif, dan konsentrasi residu dapat dipertahankan dalam sistem air.



Gambar 8. Instalasi Pengolahan Air (United States Environment Protection Agency, 2009)

Kebanyakan orang di AS tidak perlu mengolah air minum rumah mereka agar aman. Namun, pengolahan air minum rumah dapat meningkatkan rasa air, atau menyediakan faktor keamanan bagi orang-orang yang lebih rentan untuk penyakit yang ditularkan melalui air. Ada beberapa pilihan untuk sistem perawatan di rumah yaitu *point-of-use* (POU) dan *point-of-entry* (POE) (United States Environment Protection Agency, 2009). POU adalah pengolahan air keran, yang diinstal di berbagai tempat dirumah termasuk di keran itu sendiri atau dibawah wastafel.

Tabel 3. Jenis Pengolahan Air Minum Rumahan dan Fungsinya
(United States Environment Protection Agency, 2009)

Perangkat Pengolahan	Fungsi	Limitasi Perawatan
Filter karbon aktif (termasuk media campuran yang dapat menghilangkan logam berat)	<ul style="list-style-type: none"> • Menyerap kontaminan organik yang menyebabkan masalah rasa dan bau. • Menghilangkan klorinasi produk sampingan. • Menghilangkan pelarut pembersih dan pestisida. 	<p>Efisien dalam menghilangkan logam seperti timah dan tembaga.</p> <p>Tidak menghilangkan nitrat, bakteri, atau mineral larut.</p>
Unit pertukaran ion (dengan alumina aktif)	<ul style="list-style-type: none"> • Menghilangkan mineral, khususnya kalsium dan magnesium yang membuat air “keras”. • Menghilangkan radium dan barium. • Menghilangkan <i>fluoride</i>. 	<p>Jika air telah teroksidasi besi atau bakteri, resin penukaran ion akan tersumbat dan hilang kemampuan pelunakannya.</p>
Unit <i>reverse osmosis</i> (dengan karbon)	<ul style="list-style-type: none"> • Menghilangkan nitrates, sodium, dan senyawa organik dan anorganik terlarut. • Menghilangkan rasa, bau busuk, dan warna. • Mengurangi peptisida, dioksin, <i>chloroform</i>, dan petrokimia. 	<p>Tidak menghilangkan semua kontaminan organik dan anorganik.</p>
Unit destilasi	<ul style="list-style-type: none"> • Menghapus nitrat, bakteri, sodium, padatan terlarut, sebagian besar senyawa organik, logam berat, dan <i>radionucleides</i> • Membunuh bakteri 	<p>Tidak menghapus beberapa kontaminan organik, pestisida tertentu, dan pelarut yang mudah menguap.</p> <p>Bakteri dapat mengklorinasi kembali pada suhu dingin.</p>

Sedangkan POE adalah pengolahan air yang digunakan di seluruh rumah yang dipasang di saluran air yang masuk ke rumah. Penyaringan, pertukaran ion, *reverse osmosis*, dan distilasi adalah beberapa metode pengolahan yang digunakan. Harga instalasi bisa mencapai ratusan bahkan kadang ribuan dolar, dan tergantung pada metode, lokasi pemasangan, dan pipa ledeng.

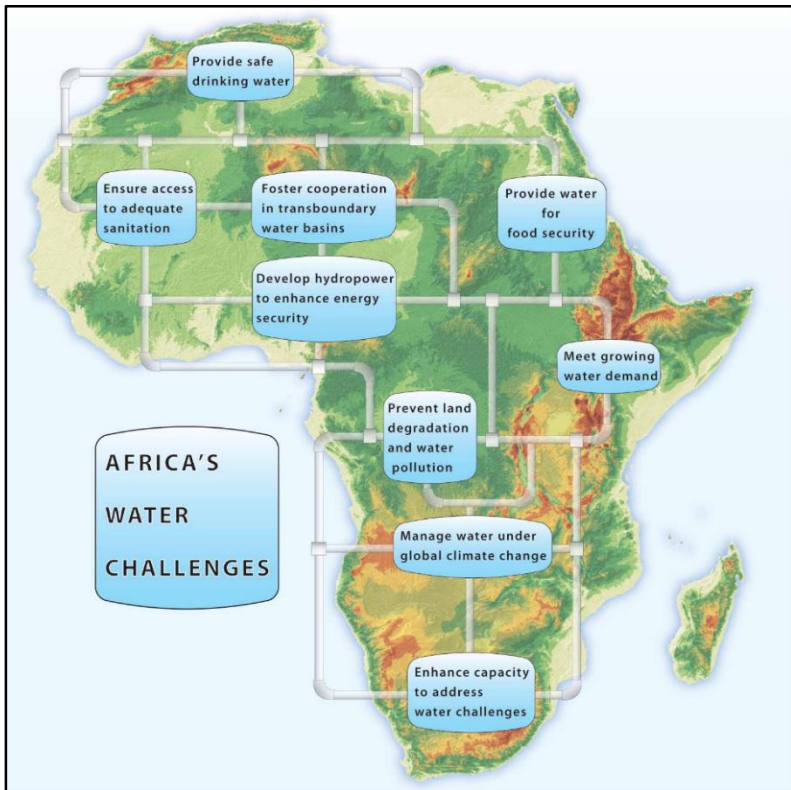
3.4 Sistem Pengolahan Air Minum di Afrika

Gunung sering disebut “menara air” alami karena ukuran dan bentuknya sehingga memaksa udara untuk berhembus ke atas, kemudian mengembun menjadi awan yang akan menurunkan hujan atau salju sebagai pasokan air di sungai. Keretakan lembah Afrika Timur mencakup Kilimanjaro dengan ketinggian hampir 6.000 m dan membentang dari utara ke selatan selama hampir 4.000 km. Guinea, dengan Fouta Djallon dan Pegunungan Nimba, menawarkan 1.165 saluran air dan aliran total 6.500 km mengalir diantara 23 cekungan, 12 diantaranya perbatasan lintasan nasional (World Wildlife Fund, 2002).

Afrika diberkahi dengan sumber daya air yang melimpah berupa sungai-sungai besar termasuk Sungai Kongo, Nil, Zambezi, Niger, dan Danau Victoria. Tetapi ironisnya Afrika adalah benua terkering kedua di dunia setelah Australia, dan jutaan penduduk Afrika masih kekurangan air sepanjang tahun (World Wildlife Fund, 2002). Kekurangan air ini disebabkan karena distribusi air yang tidak merata misalnya di suatu daerah memiliki sumber air yang melimpah namun jumlah penduduknya sedikit. Contohnya adalah Lembah Kongo, dimana 30% dari air yang ada di benua Afrika hanya dimanfaatkan oleh 10% dari total populasi (World Wildlife Fund, 2002).

Afrika menghadapi tantangan dalam menyediakan cadangan air bagi populasi yang terus bertumbuh, terutama bagi sejumlah besar orang yang bermigrasi ke pinggiran kota, dimana layanan air yang sering kali tidak ada. Tantangan yang dihadapi oleh Afrika dalam mengatasi masalah sumber airnya diilustrasikan pada Gambar 9. Kelangkaan air sudah dialami oleh 14 negara di Afrika, diperkirakan pada tahun 2025 akan terus bertambah hingga 25 negara, dimana pada saat itu hampir

50% dari populasi Afrika atau sekitar 1,45 miliar orang akan menghadapi kelangkaan air (World Wildlife Fund, 2002).



Gambar 9. Tantangan Sumber Air di Afrika (*Improving the Quantity , Quality and Use of Africa ' s Water, 2015*)

Hampir 51 persen (300 juta orang) di negara-negara Afrika Sub-Sahara tidak memiliki sanitasi yang memadai. Berdasarkan data World Wildlife Fund (2002) lebih dari 80 sungai dan danau di Afrika digunakan oleh dua atau lebih negara sebagai sumber air dan banyak negara yang bergantung pada pasokan air yang berasal dari luar negara. Afrika Sub-Sahara adalah istilah yang digunakan bagi negara-negara di benua Amerika yang tidak dianggap termasuk bagian Afrika Utara. Di Afrika Sub-Sahara air tanah dangkal telah dimanfaatkan secara luas oleh petani kecil, diambil secara manual dengan *shadouf* tradisional

atau secara mekanis melalui penggunaan sumur dangkal dan pompa sentrifugal bertenaga bensin (Rosegrant & Perez, 1997).



Gambar 10. Ilustrasi *Shadouf* Tradisional (Tikkanen, n.d.)

Berdasarkan Rosegrant & Perez (1997) iklim di Sub-Sahara Afrika secara luas dapat dibagi menjadi tiga zona utama, yaitu zona tropis lembab (*humid tropical zone*), zona sabana (*savannah zone*), dan zona semi arid/sahel (*semi-arid/sahelian zone*). Pada zona tropis lembab, rata-rata curah hujan tahunan melebihi 1.200 mm dan biasanya lebih dari 1.500 mm. Hujan terdistribusi dengan cukup baik, dimana periode pertumbuhan untuk tanaman biasanya melebihi 280 hari per tahun. Pada zona ini irigasi hanya dibenarkan secara ekonomi untuk suplementasi musim kering beberapa tanaman tahunan. Curah hujan di zona sabana rata-rata antara 800 mm sampai 1.200 mm per tahun. Pola curah hujan juga sangat bervariasi sehingga masa tanam untuk tanaman tahunan berkisar antara 120 hari hingga 240 hari. Irigasi tambahan dapat mengimbangi musim kemarau, bahkan di musim hujan irigasi

sangat penting untuk tanaman tahunan. Pada zona semi-arid, rata-rata curah hujan tahunan di bawah 800 mm dan bisa di bawah 100 mm. Pada musim hujan, curah hujan tidak menentu sebagai contoh 20 % curah hujan tahunan dapat terjadi dalam satu hari, hal ini menyebabkan erosi tanah yang hebat.

Pasokan air tawar melalui desalinasi di benua Afrika pada dasarnya tidak terbatas, tetapi mahal (Rosegrant & Perez, 1997). Namun, meskipun kapasitas desalinasi meningkat 13 kali lipat dari tahun 1970 hingga 1990, menjadi lebih dari 13 juta meter kubik per hari, air yang terdesalinasi hanya mencapai sepersepuluh dari satu persen penggunaan air tawar (Engelman and LeRoy 1993; Gleick 1993). Teknologi desalinasi meningkat dengan cepat, tetapi biaya penyediaan air dari sumber lain relatif tinggi. Biaya produksi, belum termasuk biaya transportasi, berkisar antara US\$1.00-2.00 per meter kubik tergantung pada teknologi dan banyak garam di dalam air (Frederick, 1993). Dan jika biaya transportasi untuk memompa air desalinasi ke daratan meningkat, secara otomatis biaya per unit juga akan meningkat secara signifikan.

Di Afrika Utara, desalinasi belum digunakan secara besar-besaran. Aljazair memiliki kapasitas desalinasi 176.000 meter kubik per hari, Mesir memiliki 67.700 meter kubik per hari, dan Libya memiliki 619.00 meter kubik per hari, tetapi, di Malta, kapasitas 67.000 meter kubik per hari menyumbang 50 persen dari total pasokan air, Mesir hanya menyumbang sejumlah kecil dari total pasokan air (Gleick, 1993). Beberapa bagian di Afrika Utara, penggunaan desalinasi untuk air laut akan terus meningkat dengan cepat, pertumbuhan ini terutama untuk keperluan domestik dan industri di wilayah pesisir, dan hanya akan berdampak kecil pada total pasokan air.

Setelah digunakan sekali, air tawar dapat digunakan lagi (daur ulang) di rumah atau pabrik, atau dikumpulkan dari satu atau lebih *sites*, dirawat, dan didistribusikan kembali, dan digunakan di lokasi lain (umumnya disebut penggunaan kembali air limbah) (Postel, 1992). Potensi terbesar untuk penghematan air merupakan industri daur ulang, meskipun penggunaan kembali air limbah dapat menawarkan

penghematan yang signifikan karena meningkatnya kelangkaan air. Negara-negara Afrika, khususnya di Afrika Utara, daur ulang air dapat memainkan peran penting dalam menghemat pasokan air. Tingkat ekspansi penggunaan kembali air limbah tergantung pada kualitas akhir dari air limbah dan kesediaan masyarakat untuk menggunakannya. Namun, penggunaan kembali air limbah di Afrika belum sempurna dan di beberapa bagian Afrika Utara air limbah yang tidak diolah telah digunakan terlepas dari bahaya kesehatan. Total aliran air limbah di Afrika Utara meningkat dengan cepat, meskipun masih relatif kecil dibandingkan dengan total pasokan air (World Bank, 1994).

3.5 Sistem Pengolahan Air Minum di Australia

Australia memiliki lebih dari 500 penyimpanan air besar, beberapa ribu penyimpanan kecil, dan lebih dari dua juta bendungan pertanian (Bureau of Meteorology, 2019). Penyimpanan besar sangat penting untuk mengatasi curah hujan dan suhu tinggi yang sangat lazim di Australia. Tasmania memiliki sejumlah penyimpanan besar yang terutama untuk pembangkit listrik tenaga air. Di daratan, penyimpanan terkonsentrasi terutama di tenggara di mana daerah irigasi terbesar dan terdapat sebagian besar pusat kota. Di kawasan tersebut, air banyak digunakan untuk pasokan air langsung, termasuk penggunaan pertanian, perkotaan dan industri, serta untuk lingkungan. Secara global, volume air tanah diperkirakan 13 kali volume semua air permukaan, termasuk danau, sungai, dan lahan basah. Di Australia, rasio ini lebih tinggi mengingat sebagian besar benua bersifat kering (Bureau of Meteorology, 2019). Di banyak daerah, air tanah adalah satu-satunya sumber air yang dapat diandalkan. Banyak kota, pertanian, dan tambang, khususnya di pedalaman, mengandalkan hampir sepenuhnya air tanah. Seperlima hingga sepertiga dari air yang digunakan di Australia berasal dari air tanah yang digunakan untuk pertanian, pasokan perkotaan, industri, dan banyak kegunaan lainnya.

Air tanah responsif terhadap perubahan iklim secara perlahan-lahan jika dibandingkan dengan air permukaan. Tren 2013-2018 mencerminkan beberapa faktor yang mempengaruhi air tanah, termasuk iklim, penggunaan lahan, dan ekstraksi. Area yang mengalami kondisi lebih basah, seperti Australia barat daya dan pantai timur Queensland,

memiliki jumlah sumur yang lebih tinggi dengan tingkat di atas rata-rata dan tren yang meningkat di 2017-2018 (Bureau of Meteorology, 2019). Area itu mengalami kondisi yang lebih kering, seperti Basin Murray-Darling, memiliki jumlah sumur yang lebih tinggi dengan level di bawah rata-rata dan tren menurun. Perlu dicatat bahwa hasil yang disajikan dipengaruhi oleh distribusi sumur diseluruh Australia. Pemantauan sumur biasanya terletak di akuifer, atau bagian dari akuifer, yang memiliki ekstraksi tinggi atau yang mungkin berada di bawah tekanan karena iklim, penggunaan lahan dan ekstraksi. Ekstraksi air tanah yang berkelanjutan harus seimbang terhadap resapan sumber daya dan interaksi dengan ekosistem yang bergantung pada air tanah. Selain itu, air tanah sering mengandung garam, yang mengurangi kualitas air. Akibatnya, desalinasi air tanah umum terjadi di seluruh negara.

Pusat-pusat kota di seluruh Australia menghadapi tantangan pertumbuhan populasi dan berkurangnya volume penyimpanan. Sumber air yang tahan terhadap iklim seperti desalinasi air laut dan air daur ulang telah diperkenalkan untuk meningkatkan keamanan pasokan air perkotaan di musim kemarau. Australia memiliki sekitar 270 pabrik desalinasi, sebagian besar skala kecil, untuk menghilangkan garam air laut dan payau untuk berbagai kegiatan. Lima pusat kota besar di Australia memiliki total kapasitas desalinasi air laut sebesar 534 GL per tahun (Bureau of Meteorology, 2019). Karena penurunan aliran yang stabil ke penyimpanan air Perth selama 4 dekade terakhir, pabrik desalinasi utama dibangun pada 2006 diikuti oleh yang kedua pada 2013. Pada 2017-2018 kedua pabrik tersebut berjalan sedikit di atas kapasitas sekitar 149 GL air desalinasi yang telah diolah. Adelaide bersumber pada 4 GL air desalinasi, yang menyumbang 3% dari total air perkotaan. Tabel 4 berisi pabrik desalinasi yang terletak pada pusat-pusat kota di Australia.

Air minum yang aman sangat penting untuk mempertahankan kehidupan. Karena itu, segala upaya perlu dilakukan untuk memastikan pasokan air minum yang aman bagi konsumen.

Tabel 4. Pabrik Desalinasi yang Terletak di Pusat Kota
(Bureau of Meteorology, 2019)

Pusat Kota	Tahun Pembangunan Pabrik	Perkiraan Kapasitas (GL/ Tahun)	Pasokan di 2017- 2018		Komentar pada Operasi Pabrik
			GL	(% dari Total Operasi Pabrik Perkotaan)	
Perth: Pabrik Desalinasi Air Laut	2006	45	149	52	Kedua pabrik desalinasi berjalan dengan kapasitas yang hampir sama pada 2017-2018 dan pasokan serupa dengan tahun sebelumnya.
Perth: Pabrik Desalinasi Air Laut bagian Selatan	2013	100			
Adelaide	2012	100	4,3	3	Pada tahun 2017-2018 pasokan desalinasi serupa dengan tahun sebelumnya.
Melbourne	2012	150	15	3	Air desalinasi dipesan untuk pertama kali pada 2016- 2017. Kontribusi dari desalinasi menurun pada 2017-2018.
Sydney	2010	90	0	0	Pabrik beroperasi saat penyimpanan kapasitasnya turun hingga di bawah 60%. Air desalinasi telah digunakan untuk memenuhi permintaan sejak 2012.
Gold Coast	2009	49	2,8	1	Beroperasi dalam mode siaga “panas”.

The Australian Drinking Water Duidelines (ADWG) dimaksudkan untuk memberikan kerangka kerja bagi manajemen persediaan air minum yang baik, yang jika diterapkan, akan menjamin keamanan pada saat digunakan (Australian Government, National Health and Medical Research Council, & Natural Resource Management Ministerial Council, 2017). ADWG telah dikembangkan setelah mempertimbangkan bukti ilmiah yang tersedia dan dirancang untuk memberikan referensi resmi tentang apa yang dimaksud dengan air yang aman dan berkualitas baik serta menjamin hak-hak konsumen.

Cara paling efektif untuk memastikan kualitas air minum dan perlindungan kesehatan masyarakat adalah melalui adopsi pendekatan manajemen preventif yang mencakup semua langkah dalam produksi air. Di industri air Australia, manajemen resiko dan manajemen kualitas semakin digunakan sebagai cara untuk memastikan kualitas air minum dengan memperkuat fokus pada pendekatan yang lebih preventif. Beberapa otoritas air telah menerapkan sistem manajemen berdasarkan manajemen ISO 9001, manajemen lingkungan ISO 14001, AS/NZS 4360:2004 manajemen resiko dan *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) yang telah diadopsi secara internasional oleh industri makanan (Australian Government et al., 2017). Kerangka kerja atau *framework* ini menyediakan persyaratan umum untuk organisasi yang melakukan beragam kegiatan dan untuk memandu desain pendekatan terstruktur dan sistematis untuk pengelolaan kualitas air minum, serta memastikan keamanan dan keandalannya. Pada kerangka ini juga menggabungkan pendekatan manajemen resiko preventif, termasuk elemen HACCP, ISO 9001, dan AS/NZS 4360: 2004, tetapi diterapkan dalam konteks pasokan air minum untuk mendukung implementasi yang konsisten dan komprehensif oleh pemasok.

Framework ADWG tersebut membahas empat bidang umum, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11 (Australian Government et al., 2017):

a. Komitmen terhadap manajemen kualitas air minum
(*commitment to drinking water quality management*)

Pada bagian ini melibatkan pengembangan komitmen untuk manajemen kualitas air minum dalam organisasi. Adopsi dari filosofi

framework ini tidak dapat memastikan tingkat efektivitas dan peningkatan berkelanjutan. Supaya implementasi ini dapat berjalan dengan sukses, dibutuhkan partisipasi aktif dari eksekutif senior dan filosofi organisasi yang mendukung.

b. Analisis dan manajemen sistem (*system analysis and management*)

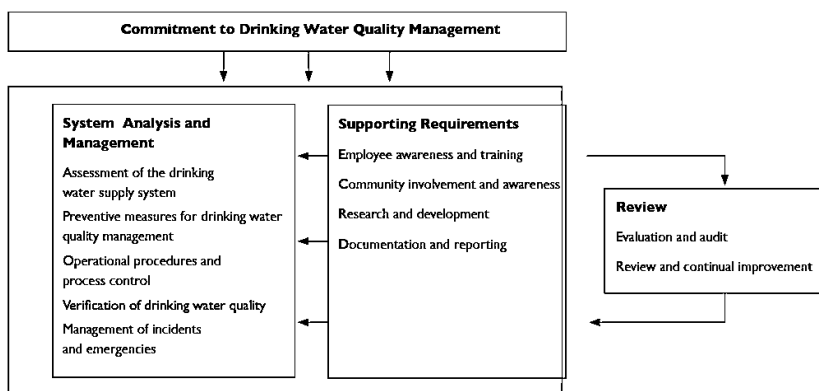
Pada bagian ini melibatkan pemahaman seluruh sistem pasokan air, bahaya dan kejadian yang dapat membahayakan kualitas air minum, dan tindakan pencegahan dan kontrol operasional yang diperlukan untuk memastikan air minum yang aman.

c. Persyaratan pendukung (*supporting requirements*)

Persyaratan ini mencakup elemen dasar seperti pelatihan karyawan, keterlibatan masyarakat, penelitian dan pengembangan, validasi proses efektivitas, dan sistem untuk dokumentasi dan pelaporan.

d. Review

Pada bagian ini terjadi proses evaluasi dan audit serta tinjauan oleh eksekutif senior untuk memastikan bahwa sistem manajemen berfungsi dengan memuaskan. Komponen-komponen ini memberikan dasar untuk *review* dan peningkatan yang berkelanjutan.



Gambar 11. *Framework* untuk Manajemen Kualitas Air Minum (Australian Government et al., 2017)

Meneurut Australian Government et al. (2017), pengelolaan kualitas air minum melalui strategi pencegahan yang komprehensif dan implementasi *framework* manajemen kualitas air minum memiliki beberapa manfaat, seperti:

- a. Mempromosikan kesehatan masyarakat dengan memastikan air minum yang lebih aman bagi konsumen;
- b. Memungkinkan evaluasi sistem air yang lebih sistematis dan mendalam, identifikasi bahaya, dan penilaian resiko;
- c. Menumbuhkan pendekatan holistik dan pemahaman tentang manajemen air minum;
- d. Menekankan pencegahan dan menempatkan pemantauan kualitas air minum secara tepat;
- e. Memperkenalkan pendekatan umum dan standar di seluruh industri, yang menetapkan batas waktu ketekunan dan kredibilitas;
- f. Memberikan peluang bagi berbagai lembaga dan pemangku kepentingan untuk mengidentifikasi bidangnya masing-masing;
- g. Menyediakan kerangka kerja untuk komunikasi dengan publik dan karyawan;
- h. Mengatasi ketidakpastian dalam menetapkan nilai pedoman yang akurat saat data ilmiah tidak tersedia;
- i. Mengidentifikasi kebutuhan penelitian di masa depan untuk sistem individu dan di seluruh industri air, dan membantu pengembangan penilaian resiko yang lebih baik untuk bahaya tertentu.

Penerapan *framework* akan bervariasi tergantung pada pengaturan pasokan air di masing-masing yurisdiksi; misalnya, di beberapa negara, pasokan air dikelola oleh satu agen, sedangkan di lain negara dikelola secara lokal oleh banyak pemasok air. Hal tersebut pasti akan mempengaruhi cara dan tingkat dimana *framework tersebut* diterapkan. Namun, semua pemasok air dan instansi pemerintah terkait harus tetap didorong untuk menggunakan *framework* tersebut sebagai model terbaik. Bagaimana *framework* ini diterapkan akan tergantung pada kebutuhan organisasi dan pengaturan kelembagaan. Setiap organisasi harus mengembangkan rencana internal untuk menerapkan *framework* dengan cara yang sesuai dengan keadaan khusus yang dimiliki. *Framework* ini bisa diterapkan sebagai sistem manajemen kualitas air minum yang dapat berdiri sendiri atau dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen yang sudah ada.

3.6 Sistem Pengolahan Air Minum di Asia

Air dalam jumlah yang memadai dan kualitas yang aman sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Pertumbuhan penduduk yang cepat dan perkembangan ekonomi memberikan tekanan yang luar biasa pada sumber daya air tawar yang terbatas. Selain itu, ketersediaan sumber daya air terancam oleh perubahan iklim.

Kualitas air minum adalah masalah kesehatan universal karena air adalah media untuk penularan penyakit di semua negara. Terdapat beberapa masalah yang signifikan terkait kualitas air di negara-negara Asia Tenggara. Dari jumlah tersebut, kontaminasi sumber air minum oleh mikroorganisme patogen tetap yang paling penting. Beberapa negara di Asia Tenggara dihadapkan dengan kontaminan kimia seperti arsenik dan *fluoride* dalam air tanah, serta kontaminasi dari industri, dan pertanian. Resiko kesehatan paling umum dan luas terkait dengan air minum adalah kontaminasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh kotoran manusia atau hewan dan mikroorganisme yang terkandung dalam tinja. Kontaminasi sumber air minum oleh mikroorganisme patogen dan air yang disimpan di dalam rumah merupakan masalah yang penting. Air yang terkontaminasi dapat menyebabkan wabah penyakit termasuk kolera, disentri, hepatitis (misalnya di Sri Lanka pada tahun 2009) dan *cryptosporidiosis*. Karena itu, pengendalian terkait penularan wabah penyakit melalui air adalah salah satu masalah kesehatan masyarakat yang paling signifikan.

Sumber utama kontaminasi mikrobiologis berasal dari kotoran manusia dan hewan melalui berbagai titik seperti buang air besar di sumber air, kontaminasi silang dari saluran pembuangan, pembuangan limbah tanpa perawatan, rembesan dari tangki septik dan lubang jamban, serta penanganan dan penyimpanan air yang tidak tepat. Lebih dari 300 juta orang di wilayah Asia Tenggara masih buang air besar di tempat terbuka (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010). Kotoran tersebut akhirnya mencemari permukaan air dan air tanah. Wabah diare Jajarkot 2009 di Nepal adalah kasus kontaminasi karena melakukan kegiatan buang air besar di tempat terbuka sehingga

dapat menyebar melalui sumber air (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010).



Gambar 12. Seorang Anak Buang Air Besar di Tempat Terbuka (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010)

Pencemaran air di wilayah Asia Tenggara juga terjadi karena banyak pabrik pengolahan limbah yang terlalu tua dan tidak memadai untuk mengolah limbah dalam jumlah yang besar. Dalam kasus ini, limbah dikumpulkan dari kota dan dibuang langsung ke sungai, kolam, dan danau.



Gambar 13. Pembuangan Limbah ke Sungai Bagmati di Kathmandu (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010)

Pasokan air yang disebarkan melalui pipa mungkin dapat terkontaminasi jika berbagai operasi dan perawatan tidak dilakukan.

Selain itu, jika rumah tangga tidak memiliki akses ke pasokan air secara langsung maka rumah tangga harus memiliki tempat penyimpanan air di rumah. Jika tidak ditangani dengan benar, air yang disimpan akan terkontaminasi ulang ditingkat rumah tangga selama pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan.

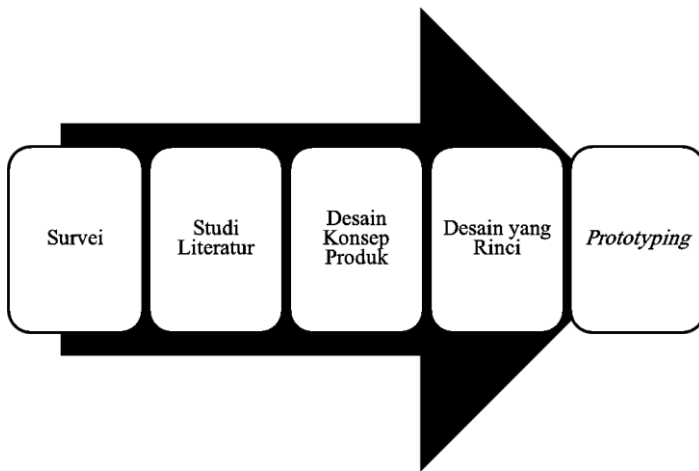
Penilaian kualitas air telah dilakukan di beberapa kota besar di India tahun 2004. Hasil menunjukkan bahwa terdapat kontaminasi mikrobiologis di berbagai titik air (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010). Di Benggala Barat, air tanah di 8 dari 17 distrik terkena kontaminasi arsenik dan juga di Bihar, Gangga, dan Dataran Brahmaputra (World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2010). Akibatnya, diperkirakan lebih dari lima juta orang terpapar arsenik dalam air minum dan sekitar 300.000 orang menderita berbagai tahap arsenikosis.

Banyak orang yang tinggal di kota besar dan kecil ingin memiliki pasokan air yang lancar. Sayangnya, dibanyak kota, termasuk yang di Asia Tenggara, hanya sekitar 50% dari total populasi perkotaan memiliki akses pasokan air yang lancar (Mcintosh, 2014). Di Asia Tenggara, Singapura sudah menunjukkan bagaimana mengelola sumber daya air yang ada. Kekuatan eksternal seperti ketergantungan pada Malaysia untuk pasokan air dan kekuatan internal seperti tanah yang sangat terbatas untuk penyimpanan air memaksa Singapura untuk mengelola sumber daya air sebaik mungkin dalam beberapa tahun terakhir sebagai desalinasi utama, tangkapan pasokan air dari jalan-jalan kota, membuat NEWater (air minum daur ulang) sebagai hasil dari daur ulang air limbah, dan menggabungkan tanggung jawab institusional atas air dan sanitasi.

Lain halnya dengan Singapura, Indonesia memiliki kebijakan nasional yang membantu pemerintah daerah dalam melaksanakan rencana pengembangan air dan sanitasi yang lebih efektif dalam desentralisasi sistem pemerintahan. Kebijakan tersebut dirancang untuk semua tingkatan pemerintahan, organisasi non pemerintahan, penerima manfaat, dan penyedia. Sedangkan Filipina memiliki Undang-Undang Air Bersih 2004 dimana harus menyediakan manajemen kualitas air

yang komprehensif (Mcintosh, 2014). Di Thailand, kebijakan di sektor air dirumuskan oleh tiga lembaga yang bertanggung jawab atas berbagai bidang di sistem air (Mcintosh, 2014). Departemen Sumber Daya Air bertanggung jawab atas kebijakan air nasional, Departemen Sumber Daya Air Tanah bertanggung jawab atas kebijakan air tanah, dan Departemen Irigasi bertanggung jawab atas kebijakan air pertanian. Thailand juga memiliki agen independen untuk mengatur sektor air, yaitu Komisi Pengaturan Air. Dan kebijakan pemerintah di Vietnam direpresentasikan melalui kombinasi hukum, keputusan, dan surat edaran. UU baru tentang sumber daya air telah disetujui oleh Majelis Nasional pada tahun 2012 (Mcintosh, 2014).

Obyek penelitian ini adalah sistem pengolahan air minum yang berlokasi di Desa Temuireng, Girisuko, Panggang, Gunung Kidul, Yogyakarta. Pengolahan air minum ini digunakan untuk memenuhi permintaan air bagi sekitar 269 keluarga di daerah itu. Langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Langkah-Langkah Penelitian

4.1 Survei

Langkah pertama dari penelitian ini adalah survei di lokasi sistem pengolahan air minum di Desa Temuireng, Girisuko, Panggang, Gunung Kidul. Survei dilakukan untuk menentukan kebutuhan sistem pengolahan air minum saat ini.

4.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui sistem pengolahan air minum saat ini di tempat lain. Penelitian ini juga dilakukan untuk menambah informasi dalam desain produk.

4.3 Desain Konsep Produk

Perancangan konsep produk dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan, teknologi, dan *SHE IS FATER* (Tontowi, 2016). *SHE IS FATER* adalah konsep desain produk yang mempertimbangkan (1) *SHE* (*Safety, Health, Environment*), (2) *Innovation and intellectual property rights*, (3) *Standard of the*

product, (4) Function, (5) Aesthetics, (6) Trends of the product, (7) Ergonomics, (8) Regulation.

4.4 Desain yang Rinci

Setelah konsep produk diperoleh, selanjutnya adalah desain detail produk.

4.5 Prototyping

Langkah berikutnya adalah membuat *prototype* yang dibuat pada skala laboratorium.

5.1 Gambaran Umum Kebutuhan Masyarakat

Gunung Kidul dikenal sebagai daerah kering di musim kemarau. Di Desa Temuireng, terdapat sekitar 269 kepala keluarga dengan lebih dari 100 orang yang membutuhkan pasokan air bersih. Untuk memenuhi kebutuhannya, penduduk Desa Temuireng membeli air bersih yang dijual dengan kisaran harga Rp 150.000,00 per 5 m³ saat musim kemarau serta memanfaatkan air hujan yang jatuh pada atap rumah untuk keperluan sehari-hari dengan terlebih dahulu ditampung dalam Pemanenan Air Hujan (PAH). Menurut peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2009, pemanfaatan air hujan adalah serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan, dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah. Sedangkan pada pasal 3 disebutkan, kolam pengumpulan air hujan adalah kolam atau wadah yang dipergunakan untuk menampung air hujan yang jatuh di atap bangunan (rumah, gedung perkantoran atau industri yang disalurkan melalui talang. Sebuah sistem pemanenan air hujan terdiri dari tiga elemen dasar yaitu area koleksi, sistem alat angkut, dan fasilitas penyimpanan (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2009).



Gambar 15. Pemanenan Air Hujan di Desa Temuireng, Gunung Kidul

Kualitas air dimusim curah hujan tinggi yang berasal dari Baron maupun Gua Ngobaran masih mengandung bakteri E-Coli 9000 per 100 ml sedang total bakteri Coliform 28000 per 100 ml (Sugiarto & Suharwanto, 2017). Dari analisa air dimusim curah hujan sedang total coliform 4000 per 100 ml, dan analisa air dimusim curah hujan rendah (kemarau) total coliform berkisar 400 per 100 ml. Dari persyaratan maksimum 50 per 100 ml. Jadi dapat disimpulkan bahwa daerah tersebut belum mendapatkan pasokan air bersih yang layak.

Pada tahun 2017 Desa Temuireng akhirnya mendapatkan bantuan dari Program Pengembangan Teknologi Industri Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang bekerja sama dengan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), Pemerintah Gunung Kidul, serta Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) untuk Sistem Pengolahan Air Minum (SPAM) dalam upaya pemenuhan kebutuhan air di Gunung Kidul.

Pemenuhan kebutuhan air warga Desa Temuireng, ditargetkan pemompaan air sekitar 70 meter kubik/hari menggunakan 6,4 kWp sistem pembangkit tenaga surya yang dirangkaikan secara langsung (*direct coupling*) dengan pompa *submersible* untuk menjangkau bak penampung (*reservoir*) yang berjarak 741 meter dengan ketinggian 80 meter dari lokasi pemasangan *prototipe*. Desain dan rancang bangun subsistem ini dilakukan oleh B2TKE-BPPT. Sementara pihak UPN melakukan sub-sistem pengolahan air, sehingga kualitas air yang dialirkan ke Desa Temuireng menjadi layak konsumsi dan higienis. Subsistem pengolahan air oleh UPN ini menggunakan tawas maupun biji kelor, serta proses olahan dengan destilasi percik.

Namun seiring dengan berjalannya waktu sistem tersebut tidak dapat dioperasikan oleh masyarakat sekitar karena sumber daya manusia yang tidak memadai untuk melakukan perawatan. Maka dari itu dilakukan survei dan identifikasi kebutuhan masyarakat terkait kebutuhan air bersih. Kemudian berdasarkan identifikasi kebutuhan masyarakat Desa Temuireng tersebut, maka akan dilakukan dan pengembangan otomasi sistem proses pengolahan air minum secara terintegrasi.

Tabel 5. Identifikasi Kebutuhan Masyarakat Desa Temuireng

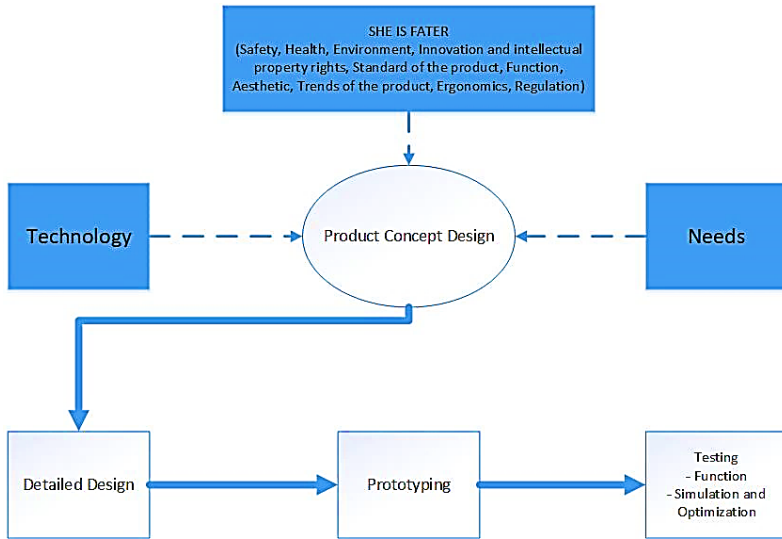
Kebutuhan Masyarakat		
Air bersih	Pengolahan air secara otomatis	Air yang cukup
Air yang sehat	Ketersediaan air secara terus menerus	Air yang mudah dijangkau
Air yang mudah di dapatkan	Perawatan yang mudah	Mudah dalam pengoprasian sistem

Sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini dapat diimplementasikan pada SPAM Temuireng, agar sistem pengolahan air dapat terotomasi dan pekerjaan yang dilakukan oleh operator lebih ringan dan tersruktur dengan baik.

5.2 Desain Konsep Produk

Desain konsep produk adalah tahap terpenting dalam pengembangan produk. Dalam penelitian ini perancangan konsep produk mempertimbangkan kebutuhan, teknologi dan SHE IS FATER. Desain konsep produk pada penelitian ini dijelaskan dengan Gambar 16.

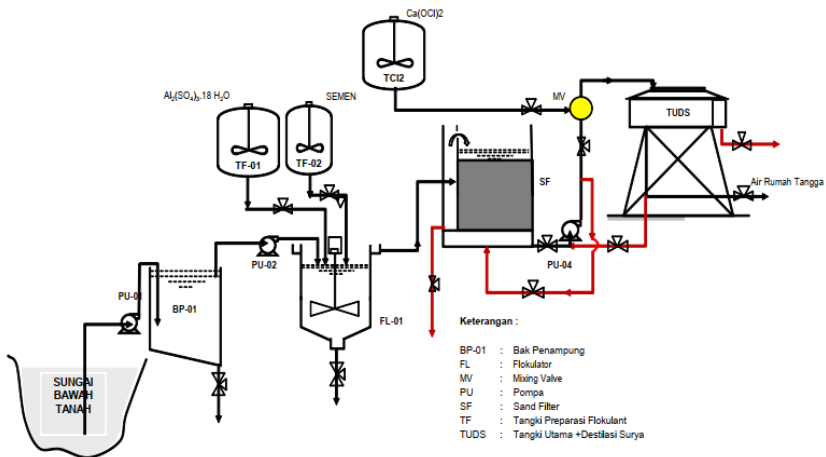
Kebutuhan masyarakat di desa Temuireng dapat dilihat pada Tabel 5. Dari kebutuhan yang telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah merancang sistem pengolahan air minum otomatis. Kebutuhan orang-orang ini kemudian dikombinasikan dengan teknologi (sistem otomatis) dan elemen-elemen lain seperti SHE IS FATER. Saat ini, otomatisasi adalah teknologi yang dapat diterapkan di hampir semua hal. Otomatisasi dapat membantu orang untuk mengelola produktivitas, meningkatkan kualitas, mengurangi waktu henti, dan juga mengurangi biaya pengoperasian. Teknologi ini dapat diterapkan dalam sistem pengolahan air. Desain produk mempertimbangkan aspek SHE IS FATER selain teknologi dua faktor dan kebutuhan. Setelah konsep desain tercapai, langkah selanjutnya adalah membuat desain yang detail.



Gambar 16. Desain Konsep Produk Otomasi SPAM

5.3 Desain Produk

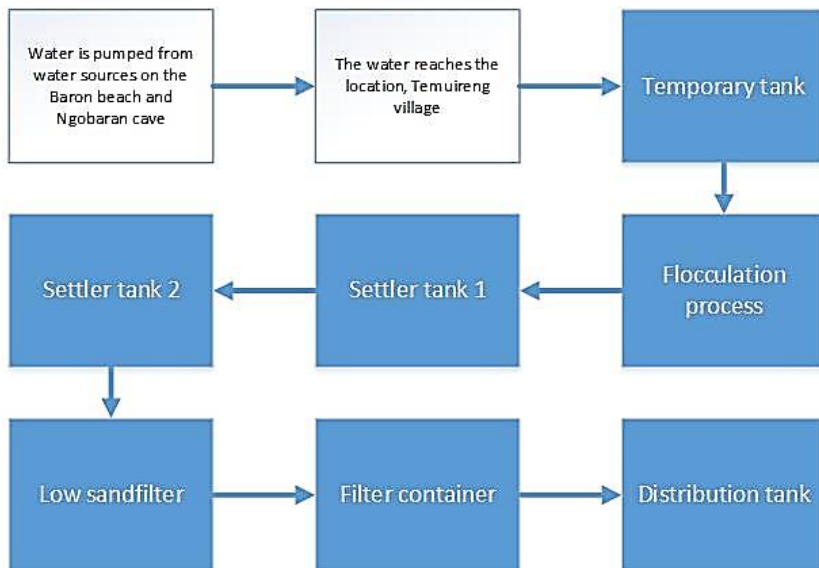
Desain produk dalam penelitian ini merupakan pengembangan desain dari Sugiarto et al. (2017). Gambar 17 menjelaskan desain konsep produk dari sistem pengolahan air minum ini.



Gambar 17. Desain Konsep Produk dari Sugiarto et al. (2017)

Dalam sistem pengolahan air minum otomasi ini, kontrol otomasi akan dipasang di tiga area. Otomasi akan dipasang terutama sebelum tangki

karena fungsi utama otomasi ini adalah untuk mengontrol volume air di setiap tangki. Gambar 18 menunjukkan konsep desain proses untuk sistem pengolahan air ini.



Gambar 18. Konsep Proses Desain Otomasi SPAM

Pertama, air dipompa dari sumber air di area pantai Baron dan gua Ngobaran. Kemudian setelah air mencapai desa Temuireng, Girisuko, Panggang, Gunung Kidul, air dipompa untuk mencapai tangki sementara yang terletak di daerah yang lebih tinggi. Air dalam tangki sementara kemudian dialirkan ke proses flokulasi untuk mengurangi E-coli dan total coliform. Proses ini menggunakan bekuan alami seperti kelor.

Pada proses selanjutnya, air yang telah diproses secara flokulasi kemudian dialirkan ke tangki settler 1 dan settler tank 2. Tangki settler dirancang dua kali untuk mengoptimalkan proses sedimentasi. Hasil dari proses sedimentasi ini kemudian dialirkan ke proses filter pasir rendah. Proses ini menggunakan zeolit dan arang. Kemudian proses selanjutnya adalah menguji kualitas air dalam wadah saringan, jika air masih mengandung e-coli dan coliform tinggi maka klorinasi harus

dilakukan. Jika kualitas air telah tercapai maka air proses selanjutnya dialirkan ke tangki distribusi dan air siap didistribusikan.

5.3 Prototyping

Prototyping dalam penelitian ini dibuat dalam skala laboratorium. Setelah desain detail diperoleh, langkah selanjutnya adalah membuat prototipe. Sebelum sistem otomasi diterapkan dalam sistem nyata, perlu simulasi dan optimasi. Salah satu cara untuk menjalankan simulasi dan optimalisasi adalah membuat prototipe. Prototipe dalam penelitian ini akan dibuat dalam skala laboratorium, dengan proses, fungsi, dan bahan (air) yang sama dengan sistem nyata.

5.4 Rancangan prototipe

Rancangan Prototipe Sistem Pengolahan Air Minum terotomasi menggunakan beberapa peralatan elektronik, dengan menggunakan sumber aliran listrik sebagai penggerak utama, untuk mengontrol kerja dari pompa dan kran otomatis yang disebut solenoid. Sumber listrik yang dipergunakan diasumsikan lebih dari cukup, pembangkitan sumber tenaga listrik yang ada sekarang menggunakan sel solar tenaga surya yang cukup besar. Sehingga permasalahan sumber tenaga listrik bukan menjadi kendala dilokasi SPAM Temuireng.

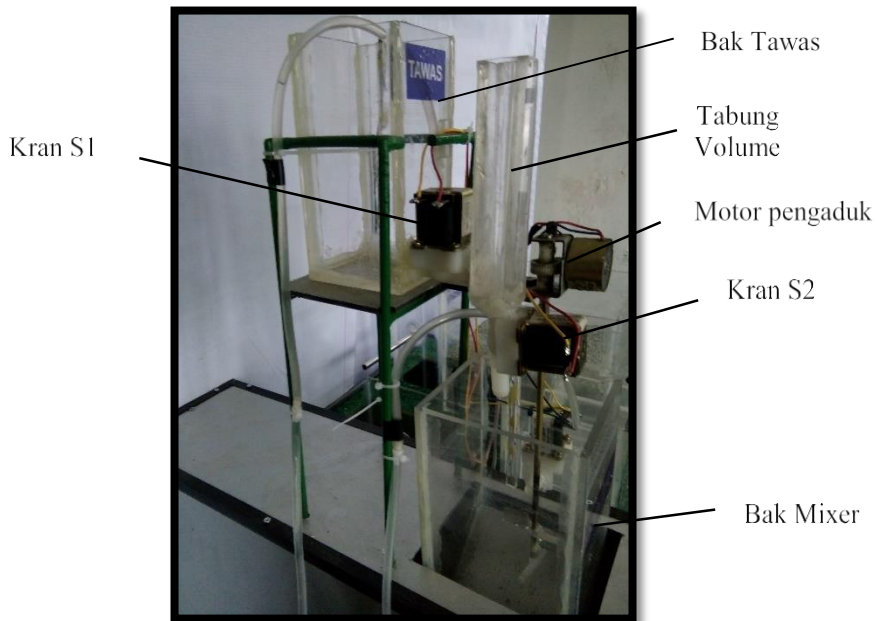
Peralatan yang dipergunakan untuk rancangan SPAM Temuireng adalah sebagai berikut:

5.4.1 Bak Koagulan

Bak koagulan adalah bak yang digunakan untuk menampung zat koagulan berupa tawas, tawas adalah bahasa pasaran pada umumnya disebut juga alum. Rumus kimianya adalah $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ merupakan bahan kimia tidak berwarna dan bersifat asam. Alum kalium mudah larut dalam air panas, ketika kristalin alum kalium dipanaskan terjadi pemisahan secara kimia, dan sebagian garam yang terdehidrasi terlarut dalam air.

Bak tawas dalam prototipe ini dirangcang dengan ukuran 6,5 cm x 6,5 cm x 15 cm sehingga volume totalnya adalah 600 ml. Setting isi bak

tawas maksimum adalah 500 ml, yang diatur dengan otomasi. Bak tawas dibuat lebih tinggi dari bak lainnya, untuk memanfaatkan gaya grafitasi dalam mengalirkan tawas kedalam bak mixer dengan volume tertentu.



Gambar 19. Bak penampung koagulan (tawas)

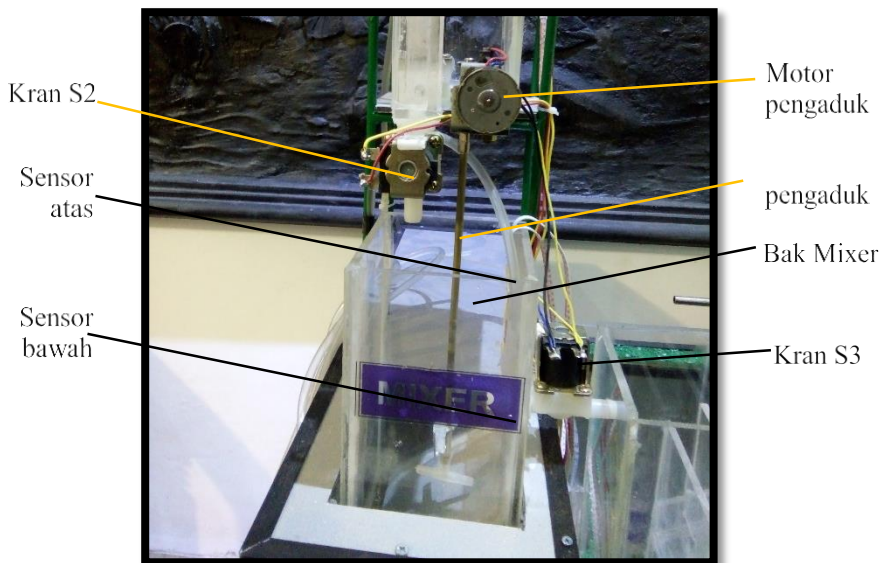
Volume tawas yang akan dialirkan dalam mixer pencampur, diatur menggunakan tabung volume yang berukuran 2 cm x 2 cm x 15 cm, dengan volume efektif yang dialirkan secara otomatis sebanyak 50 ml. Pengaliran larutan tawas diatur dengan sistem kontrol kran solenoid yang dihubungkan dengan modul sensor pada ketinggian tertentu.

Mekanismenya adalah kran solenoid (S-1) terbuka secara otomatis yang digerakkan oleh panel kontrol untuk mengisi tabung volume sampai dengan volume 50 ml, kemudian kran solenoid menutup otomatis setelah tercapai. Tabung volume yang terisi penuh akan terbuka otomatis dengan cara membuka kran solenoid (S-2), setelah ada sinyal untuk membuka dari panel kontrol yang dikendalikan oleh sensor

ketinggian tertentu pada bak mixer. Sehingga cairan tawas dalam konsentrasi tertentu dapat direaksikan dengan Air PAM di bak mixer.

5.4.2 Bak Mixer

Bak mixer adalah bak yang dibuat untuk mencampur atau mereaksikan Air PAM dan koagulan Tawas, dengan cara dicampur dalam perbandingan tertentu dan diaduk menggunakan pengaduk otomatis yang dikendalikan oleh panel kontrol berdasarkan sensor ketinggian permukaan larutan campuran yang ada di mixer. Bak mixer pada prototipe ini berukuran 10 cm x 10 cm x 20 cm dengan volume efektif untuk proses pencampuran adalah per 1000 ml, dan 500 ml berfungsi sebagai buffer. Mekanisme pencampurannya adalah air PAM masuk ke bak mixer dengan cara di pompa otomatis, air mengalir berdasarkan pompa otomatis ini menggambarkan kondisi di SPAM Temuireng, dimana air mengalir berdasarkan pompa dari sumber PDAM. Sistem di SPAM Temuireng Air PAM sebagai input dikontrol secara manual dengan membuka kran air PDAM, masuk tanpa kontrol kendali khusus sehingga tergantung dari aliran air PDAM.



Gambar 20. Bak mixer (pencampur)

Prototipe yang dirancang air input dipompa dengan kondisi tertentu, gerakan pompa dikontrol oleh panel yang dikendalikan oleh sensor ketinggian pada mixer. Pengisian air input akan dilakukan ketika ketinggian air pada mixer berada di kontrol bawah, dan pengisian berhenti ketika permukaan air campuran ada mixer telah berada pada sensor batas atas. Pengaliran air campuran di bak mixer ini dikendalikan oleh sensor ketinggian tertentu yang akan membuka otomatis kran solenoid (S-3) dan air mengalir menuju bak sedimentasi. Kran S-3 akan menutup otomatis setelah ketinggian tertentu yang dikendalikan oleh sensor ketinggian permukaan air.

5.4.3 Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi dibuat dengan ukuran 10 cm x 20 cm x 20 cm dengan volume efektif adalah 2.000 ml yang digunakan untuk proses pengendapan koagulan yang terbentuk oleh pencampuran antara air PAM dan koagulan tawas di bak mixer, mekanisme kerjanya adalah air yang keluar dari bak mixer mengalir melalui sekat-sekat di bak sedimentasi, air berjalan sesuai dengan aliran yang dialirkan oleh bak mixer dengan ketinggian grafitasi. Air yang mengalir akan melewati beberapa sekat yang fungsinya adalah untuk memberi kesempatan koagulan yang terbentuk agar mengendap kebawah, dan endapan mengalir pada bidang miring. Sedangkan air jernih yang terbentuk akan mengalir otomatis dengan grafitasi ke bak filtrasi.



Gambar 21. Bak sedimentasi

5.4.4 Bak Filtrasi

Bak filtrasi dibuat dengan dimensi ukuran 20 cm x 30 cm x 20 cm dengan volume efektif 9.000 ml, dalam rancangan ini berfungsi sebagai bak penyaring partikel-partikel lembut yang masih terikut dalam air minum setelah di sedimentasi, bak ini dibuat dengan sistem penyaringan sederhana dengan material batu kerikil jenis silika, pasir kali, ijuk dan arang. Air yang dialirkan dari bak sedimentasi masuk melalui lubang sebelah bawah kemudian air mengalir ke permukaan melalui saringan arang, pasir, dan kerikil. Air yang berada di permukaan merupakan air bersih yang sudah disaring, kemudian dialirkan menuju bak produk.



Gambar 22. Bak Filtrasi

5.4.5 Bak Produk

Bak produk dibuat dengan dimensi ukuran 25 cm x 30 cm x 20 cm dengan volume efektif adalah 10.000 ml. Bak produk ini dipergunakan untuk menampung air hasil olahan Sistem Pengolahan Air Minum yang telah memenuhi syarat. Prototipe bak produk ini dilengkapi dengan pompa yang dikendalikan oleh sensor ketinggian, pompa akan bekerja untuk memompa air bak setelah kondisi air produk penuh.

Air dipompa keluar dengan arah kondisi sebenarnya di SPAM Temuireng adalah untuk memompa produk air minum menuju bak pusat yang akan dialirkan ke rumah-rumah penduduk di Temuireng.



Gambar 23. Bak Produk

5.4.6 Pompa

Pompa yang dipergunakan dalam rancangan prototipe ini adalah jenis Micro Pump 12V DC, jumlah 3 buah pompa untuk memompa air sumber (PAM), air bersih dari bak produk, dan larutan koagulan tawas.



Gambar 24 Pompa air mini

5.4.7 *Solenoid valve pneumatic*



Gambar 25. *Solenoid valve*

Solenoid valve pneumatic adalah katup yang digerakan oleh energi listrik melalui solenoida, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC, solenoid valve pneumatic atau katup (valve) solenoida mempunyai lubang keluaran, lubang masukan dan lubang *exhaust*.

Lubang masukan, berfungsi sebagai terminal / tempat udara bertekanan masuk atau supply (service unit), sedangkan lubang keluaran berfungsi sebagai terminal atau tempat tekanan angin keluar yang dihubungkan ke pneumatic, dan lubang exhaust, berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan udara bertekanan yang terjebak saat plunger bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve pneumatic* bekerja.

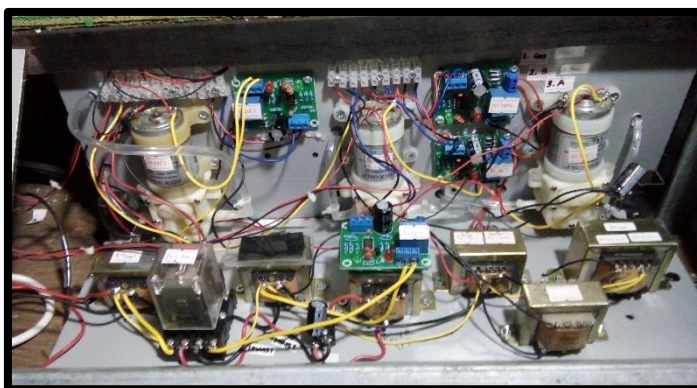
Solenoid valve adalah elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam *fluidics*. Tugas dari solenoid valve adalah untuk mematikan, release, dose, distribute atau mix fluids. Solenoid Valve banyak sekali jenis dan macamnya tergantung type dan penggunaannya, namun berdasarkan modelnya solenoid valve dapat dibedakan menjadi dua

bagian yaitu solenoid *valve single coil* dan *solenoid valve double coil* keduanya mempunyai cara kerja yang sama.

Prinsip kerja dari solenoid valve yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggerakanya dimana ketika koil mendapat supply tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya ketika piston bertekanan yang berasal dari supply (service unit), pada umumnya solenoid valve pneumatic ini mempunyai tegangan kerja 100/200 VAC.

5.4.8 Kontrol panel

Penggerak otomatis dari sensor dan motor penggerak dikendalikan dalam satu panel yang disusun dalam satu rangkaian peralatan otomasi SPAM.



Gambar 26. Panel kontrol prototipe otomasi SPAM

Peralatan sistem otomasi SPAM, terdapat modul-modul penyusun, diantaranya :

1. Sensor/Tranduser

Sensor adalah suatu komponen yang mendeteksi keluaran atau informasi lainnya yang diperlukan dalam siste kontrol. Sedangkan tranduser adalah suatu komponen yang mampu merubah besaran-besaran non listrik (mekanis, kimia atau yang lainnya) menjadi besaran-besaran listrik atau sebaliknya.

2. Kontroler

Kontroler adalah suatu komponen, alat, atau peralatan (berupa mekanis dan elektronik) yang mampu mengolah data masukan dan membandingkan respon alat (hasil pembacaan dari keluaran *plant*) dan referensi yang dikehendaki untuk dikeluarkan menjadi suatu data perintah atau disebut sinyal control.

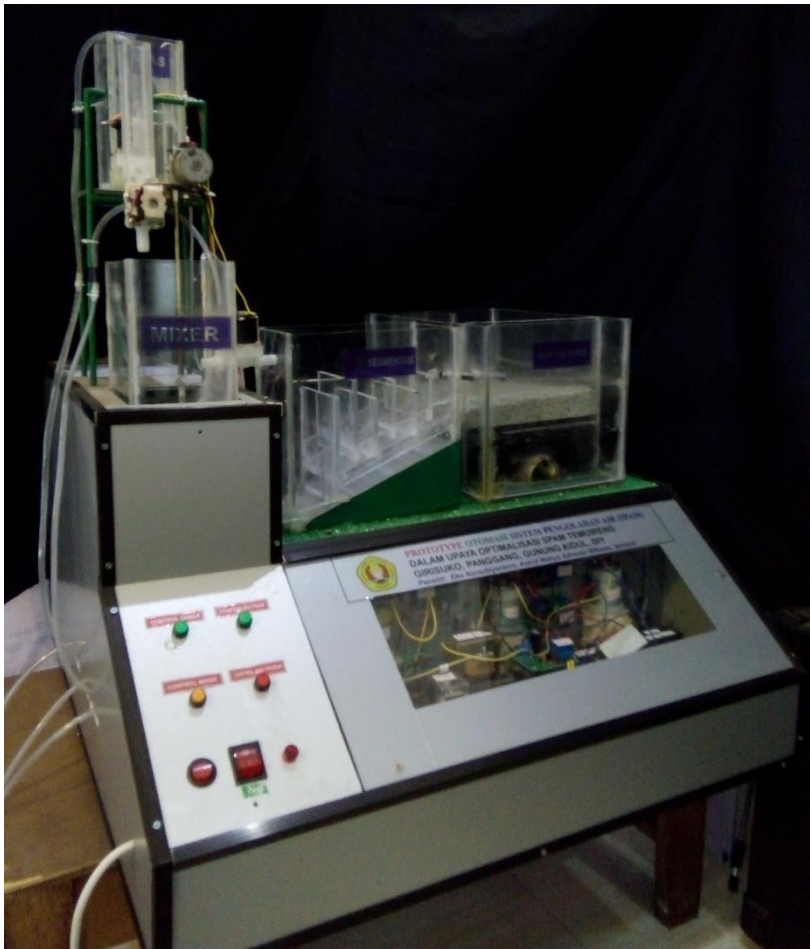
3. Aktuator

Aktuator adalah suatu komponen peralatan (berupa mekanis dan pneumatik, hidrolis) yang mampu mengolah data perintah (sinyal kontrol) menjadi sinyal aksi membuka atau menutup kran, atau menyambung dan memutus arus. Pada bagian ini sudah tidak menggunakan operator lagi untuk mengontrol level air sesuai yang diinginkan, menggunakan kontroler yang bekerja secara otomatis. Dengan komponen ini bisa diketahui berapa kedalaman atau ketinggian level air yang diinginkan. Dari besaran fisika, berupa perubahan kedalaman/ketinggian dengan satuan centimeter dirubah menjadi besaran listrik dengan satuan tegangan. Dengan adanya informasi ini, maka kontroler akan menghasilkan sinyal kontrol yang diolah sebelumnya. Karena sinyal kontrol tidak dapat langsung dimanfaatkan untuk memutar katup/valve pipa, maka sinyal ini harus dikonversi dulu menjadi sinyal aksi. Aktuator yang mengkonversi sinyal ini. Aktuator dalam sistem ini berupa solenoid atau pompa air.

5.5 Prototipe Otomasi Sistem Pengolahan Air (SPAM) Temuireng

Berdasarkan dari permasalahan yang telah uraikan maka peneliti melakukan perancangan otomatisasi sistem SPAM Temuireng dalam skala laboratorium. Hasil rancangan kami aktualisasikan dalam sebuah prototipe SPAM, dengan sistem yang sama dengan SPAM Temuireng, Kelurahan Girisuko, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunungkidul. Penambahan otomasi dilakukan untuk mengatur aliran air PAM dan aliran kemikalia yang fungsinya sebagai pengendap kotoran dan penjernih air PAM sehingga layak sebagai air minum. Operator yang mengatur Sistem SPAM dapat diminimasi dengan cukup 1 (satu) orang yang mengecek kondisi otomasi dan bahan-bahan yang diperlukan pada sistem SPAM Temuireng. Hasil rancangan Prototipe

SPAM Temuireng, Girisuko, Panggang, Gunungkidul adalah seperti Gambar 26 sebagai berikut :



Gambar 27. Prototipe otomasi SPAM Temuireng

5.6 Analisis Desain

Analisis dari permasalahan otomasi SPAM Temuireng diatas adalah adanya kebutuhan modifikasi sistem dari Sistem SPAM Temuireng yang sekarang ada. Penerapan sistem otomasi pada keseluruhan sistem peralatan dibutuhkan untuk memudahkan pekerjaan. Teknologi otomasi merupakan sebuah teknologi yang proses maupun prosedurnya diselesaikan tanpa keterlibatan

langsung manusia juga mengurangi pekerjaan yang berulang-ulang. Penerapan teknologi otomasi digunakan dalam dunia industri agar dapat meningkatkan akurasi, presisi, dan produktivitas dari suatu proses industri, yang ditandai dengan meningkatnya jumlah dan kualitas keluaran yang dihasilkan. Dari permasalahan tersebut, perbaikan dapat dilakukan dengan memodifikasi sistem SPAM yang saat ini ada agar memudahkan operator. Alasan penggunaan sistem otomasi secara keseluruhan untuk mencapai tingkat kapasitas produksi optimal dan pengurangan waktu siklus produksi. Pengaplikasian sistem otomasi pada mesin produksi akan menghasilkan keuntungan seperti pengurangan waktu siklus, peningkatan kualitas produk, dan pengurangan beban operator. Pengembangan sistem otomasi dapat diharapkan mengurangi beban operator dalam melakukan aktivitas dan berjalan otomatis tanpa campur tangan manusia.

Rancangan konfigurasi panel box bertujuan untuk menciptakan pemahaman yang jelas bagi operator yang mengendalikan proses, mencakup keamanan dan dapat dilakukannya perawatan berkala. Panel box dirancang dengan pertimbangan spesifikasi kebutuhan pengguna yang mempertimbangkan kebutuhan sistem. Selain itu untuk memasang komponen listrik atau komponen elektronik industri seperti PLC, relay, sumber tenaga, contactor, dan lain-lain.

Simulasi rancangan prototipe merupakan tahap akhir pada penelitian ini. Dilakukan untuk memastikan sistem yang dirancang dan diimplementasikan pada model desain baru untuk mengetahui terjadinya failure system dan error. Dari hasil uji bahwa perancangan sistem otomasi SPAM Temuireng dapat mengurangi beban kerja operator. Pekerja hanya mengoperasikan sistem dari panel kontrol untuk mengetahui kondisi proses dari SPAM. Uji simulasi dilakukan dengan dua kondisi yaitu model SPAM saat ini dan model otomasi SPAM Temuireng hasil rancangan. Dengan membandingkan kedua hasil uji ini terlihat memiliki perbedaan signifikan, yaitu pada proses yang saat ini dilaksanakan memerlukan perhatian khusus operator terutama dalam pengaturan “valve” koagulan dan air PAM. Sedangkan hasil rancangan dapat meminimasi hal tersebut karena telah di optimasi

sejak awal sebelum dilakukan “run” operasi, sehingga hasilnya lebih baik.

5.7 Hasil uji rancangan prototipe

Setelah prototipe dibuat, langkah selanjutnya adalah menguji prototipe dan kemudian mengevaluasi. Pada langkah pengujian prototipe, fungsi prototipe diperiksa dan disimulasikan serta optimasi dijalankan untuk memperoleh hasil terbaik. Gambar 27 adalah foto prototipe SPAM Temuireng dalam skala laboratorium.



Gambar 28. Prototipe Otomasi SPAM

Pengujian sistem prototipe SPAM dilakukan di laboratorium dengan air biasa, guna menguji kerja sistem alat prototipe yang sesuai dengan rancangan. Pengujian diawali dengan menghidupkan aliran listrik dengan cara menekan tombol on-off, kemudian lampu signal alat bekerja ditandai dengan nyala merah pada tombol on-off. Alat bekerja pada Pompa-1 tawas menyedot tawas dari bak pembuatan larutan tawas menuju bak tawas di prototipe sampai penuh, dalam batas tertentu yang ditandai dengan sensor atas untuk memutus aliran sumber listrik pompa penyedot tawas dari bak larutan tawas. Volume larutan tawas dalam batas atas adalah 500 ml, Pompa-1 bawah penyedot tawas berhenti, kemudian saklar S1 terbuka yang fungsinya mengisi takaran tertentu

sebanyak 50 ml tawas kedalam tabung pengukur. Pada saat yang sama Pompa ke-2 hidup dengan fungsi menyedot air sumber untuk diisi pada bak mixer pada volume tertentu sebanyak 1500 ml, dengan sensor atas sebagai batas maksimum. Setelah sensor atas pada mixer terlampaui maka Pompa-2 sebagai penyedot air sumber berhenti, secara otomatis sensor atas akan menggerakkan motor pengaduk dan saklar S2 terbuka. Sehingga proses pencampuran antara air sumber, tawas dan pengadukan berjalan. Setelah sekitar 30 detik pencampuran berlangsung, kemudian kran S3 terbuka otomatis dan air campuran mengalir ke bak sedimentasi. Sistem yang terjadi pada awal sampai dengan kran S3 akan berulang-ulang terus sampai dengan keadaan tertentu berhenti, keadaan tertentu itu ditentukan oleh sensor bak produk.

Air hasil dari bak mixer akan mengalir ke bak sedimentasi dengan aliran sesuai dengan otomatisasi alat, aliran air akan melewati halangan bidang miring dan sekat-sekat yang diatur agar aliran melewati atas dan kemudian sekat berikutnya lewat bawah. Pengaliran ini dimaksudkan untuk membuat endapan-endapan yang terbentuk bisa turun dan nantinya akan di pompa keluar. Setelah bak sedimentasi terisi penuh, sekitar volume 2.000 ml maka aliran dengan gravitasi mengalir ke bak filtrasi. Aliran yang masuk ke bak filtrasi ini mengalir melalui pipa bagian bawah, kemudian mengalir melewati saringan pasir lambat yang telah di seting sesuai kebutuhan. Air yang telah melewati saringan pasir pada volume 9.000 ml naik dan mengalir secara gravitasi menuju bak penampung/penenang air bersih dengan volume 2.000 ml. Fungsi dari bak penampung/penenang ini adalah untuk pengecekan akhir dari kualitas air, pada bak tampungan ini air akan di uji kualitas residu tersuspensi, residu terlarut, kesadahan, oksigen terlarut, kekeruhan dan total koliform.

Air dari bak penampung/penenang air mengalir secara gravitasi menuju bak produk yang kapasitas maksimumnya adalah 10.000 ml. Pada saat volume mencapai maksimumnya, maka sensor akan mengirim sinyal ke control panel induk untuk memutus jaringan sumber listrik yang menggerakkan pompa produksi, motor pengaduk dan kran-kran solenoida agar tidak aktif. Secara bersamaan pula sensor akan

menggerakkan Pompa-3 untuk memompa keluar bak produk ke saluran yang akan menampung bak pusat yang fungsinya akan didistribusi kerumah-rumah penduduk. Pada prinsipnya peralatan rancangan prototipe SPAM Temuireng telah berjalan dengan baik dan sesuai dengan rancangan.

Pengujian sistem otomasi SPAM telah berjalan dengan baik, selanjutnya pengujian dilakukan menggunakan air sumber SPAM Temuireng yaitu dari air PDAM Kabupaten Gunungkidul yang diambil dilokasi SPAM Temuireng. Setelah dilakukan pengujian dan simulasi sampai dengan tercapainya optimasi pada sistem, maka hasilnya kemudian diuji kualitas airnya di laboratorium. Hasil pengujian kualitas air pada Tabel 6 dan Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil uji kualitas air SPAM Temuireng

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Hasil Uji	
				I	II
1	Residu Tersuspensi (TSS)	mg/l	(-)	13	12
2	Residu Terlarut (TDS)	mg/l	500	402	251,5
3	Kesadahan	mg/l	500	178	162
4	DO	mg/l	(-)	7,58	7,78
5	Kekeruhan	NTU	5	0,94	0,24
6	Total Koliform	JPT/100 ml	0	Nihil	Nihil

Keterangan:

I : Kadar uji air sumber SPAM Temuireng

II : Kadar uji air olahan SPAM Temuireng

Tabel 7. Hasil uji kualitas air olahan Prototipe SPAM Temuireng

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Hasil Uji		
				I	II	III
1	Residu Tersuspensi (TSS)	mg/l	(-)	10	7	9
2	Residu Terlarut (TDS)	mg/l	500	159	160,5	162
3	Kesadahan	mg/l	500	78	54	60
4	DO	mg/l	(-)	7,58	7,19	7,78
5	Kekeruhan	NTU	5	0,39	0,42	0,27
6	Total Koliform	JPT/100 ml	0	Nihil	Nihil	Nihil

Kadar Residu Tersuspensi (TSS: Total Suspended Solid) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen, seperti bahan organik

tertentu, tanah liat dan lainnya. Tabel 6 menunjukkan nilai TSS Sumber Air PDAM 13 mg/l. Menurut Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 kadar maksimum yang diijinkan adalah nol, artinya tidak terkandung TSS. Hasil olahan SPAM Temuireng = 12 mg/l yang artinya masih belum memenuhi standar yang dipersyaratkan. Berdasarkan Tabel 7 hasil uji laboratorium untuk parameter TSS pada air produk otomasi SPAM yang di replikasi 3 kali adalah 10 mg/l, 7 mg/l dan 9 mg/l menunjukkan ada peningkatan kualitas baku mutu air minum, walaupun masih belum memenuhi persyaratan baku mutu air minum yang sesuai Peraturan Menteri Kesehatan.

Kadar Residu Terlarut (TDS: *Total Dissolve Solid*) adalah padatan terlarut yang mempunyai ukuran lebih kecil dibandingkan padatan tersuspensi, efek TDS terhadap kesehatan tergantung pada kandungan kimia penyebab masalah tersebut. Kadar TDS Air Sumber = 400 mg/l (Tabel 6) sehingga menurut Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 standard baku mutu air sumber masih dibawah ambang batas yang dipersyaratkan. Kadar hasil olahan SPAM Temuireng = 251,5 mg/l, terjadi peningkatan kualitas walaupun tidak begitu signifikan. Berdasarkan Tabel 7 hasil uji laboratorium untuk parameter TDS pada air produk otomasi SPAM adalah 159 mg/l, 160,5 mg/l dan 162 mg/l, terdapat perbedaan kualitas yang lebih baik walaupun juga masih belum signifikan dibandingkan dari kualitas air sumber.

Kesadahan adalah sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion (kation) logam valensi, misalnya Mg_{2+} , Ca_{2+} , Fe^{+} dan Mn^{+} . Kesadahan total merupakan kesadahan yang disebabkan oleh adanya ion-ion Ca_{2+} dan Mg_{2+} secara bersama-sama. Hasil pengukuran kadar kesadahan (Tabel 6) untuk air sumber= 178 mg/l dan kadar kesadahan setelah dilakukan pengolahan dengan SPAM menjadi 162 mg/l. Menurut Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 hasil tersebut masih dibawah ambang batas yang dipersyaratkan, sehingga layak sebagai air minum. Tabel 7 menunjukkan hasil uji air produk otomasi SPAM, kandungan kesadahan cukup rendah apabila dibandingkan dengan hasil uji air olahan SPAM. Kandungan kesadahan hasil olahan produk otomasi SPAM adalah 78 mg/l, 54 mg/l dan 60 mg/l yang memenuhi syarat sebagai sumber air minum dan air bersih.

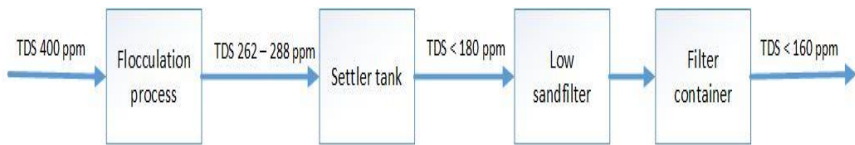
Oksigen Terlarut (*DO: Dissolved Oxygen*) Oksigen terlarut dalam air sangat penting untuk kelangsungan kehidupan organisme air. Oksigen terlarut juga penting digunakan untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan organik dan anorganik pada proses aerobik dalam air. Sumber utama oksigen dalam perairan berasal dari udara melalui proses difusi dan hasil fotosintesis organisme di perairan tersebut. Kadar maksimal yang dipersyaratkan tidak di atur dalam Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010, berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 kadar DO tidak banyak perbedaan.

Kekeruhan sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan menggambarkan sifat optik yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air. Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 mempersyaratkan kandungan maksimum kekeruhan adalah 5 NTU. Tabel 6 memperlihatkan nilai kekeruhan antara air sumber dan olahan SPAM tidak berbeda secara signifikan, akan tetapi pada Tabel 7. Hasil uji kadar kekeruhannya cukup rendah yaitu 0,39 NTU, 0,43 NTU dan 0,27 NTU.

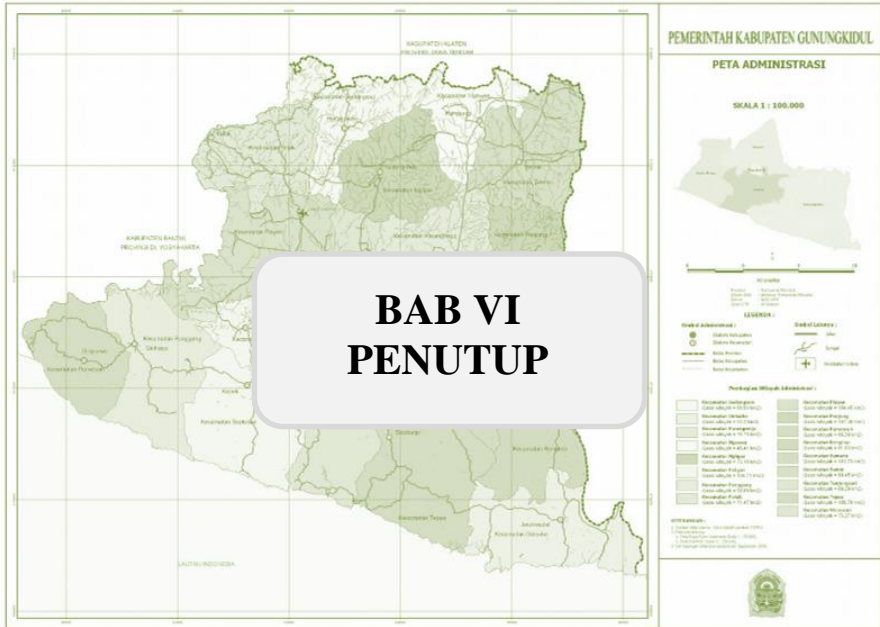
Total Koliform merupakan kelompok bakteri yang mempunyai karakteristik biokimia dan pertumbuhan yang berhubungan dengan kontaminasi *faecal*. Yang berperan dalam kesehatan air minum. Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 mempersyaratkan kandungan air minum harus bebas dari koliform. Berdasarkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 yang memperlihatkan hasil uji Total Koliform untuk air sumber, air olahan SPAM Temuireng dan hasil uji air produk otomasi SPAM menunjukkan kandungan total koliform adalah nihil. Hal ini menunjukkan bahwa air tersebut layak untuk menjadi air minum.

Berdasarkan dari WHO (World Health Organization, 1993) hasil tes prototipe, TDS air dapat dikurangi dari sekitar 400 ppm menjadi di bawah 160 ppm. Hasil TDS ini berada dalam kategori sangat baik. TDS merupakan indikator dari jumlah partikel atau zat tersebut, baik berupa senyawa organik maupun non-organik. Zat atau partikel padat terlarut yang ditemukan dalam air dapat berupa natrium (garam), kalsium, magnesium, kalium, karbonat, nitrat, bikarbonat, klorida dan

sulfat. Berdasarkan penelitian yg dilakukan maka pengurangan TDS dalam setiap proses dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 29. Pengurangan TDS di Setiap Proses



5.1 Kesimpulan

Sistem pengolahan air minum (SPAM) Temuireng yang ada di Pedukuhan Temuireng, Kalurahan Girisuko, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul telah mampu secara kuantitas untuk memenuhi kebutuhan air bersih warga masyarakat Temuireng. Namun demikian untuk segi kualitas sistem SPAM yang ada pada saat ini perlu dikembangkan dengan perbaikan desain sistem dan optimai fungsi pengolahan air.

Desain prototipe otomasi SPAM Temuireng dengan mempertimbangkan kebutuhan manusia, teknologi, dan SHE IS FATER yaitu:

- (1) *SHE (Safety, Health, Environment),*
- (2) *Innovation and intellectual property rights,*
- (3) *Standard of the product,*
- (4) *Function,*
- (5) *Aesthetics,*
- (6) *Trends of the product,*
- (7) *Ergonomics,*
- (8) *Regulation.*

Perbaikan sistem SPAM dan optimasi pengolahan air dikembangkan dengan sistem yang telah dibuat dalam rancangan prototipe otomasi SPAM Temuireng. Berdasarkan hasil pengembangan penelitian maka desain baru sistem pengolahan air minum otomatisasi telah diperoleh dengan hasil yang memuaskan, biaya operasi dapat dikurangi, jumlah operator dan pekerjaan rutin SPAM dapat diminimalkan, kualitas air produk dapat ditingkatkan. Sehingga kebutuhan air minum untuk warga masyarakat Temuireng dapat ditingkatkan kuantitas dan kualitasnya yang sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 492/Menkes/Per/IV/2010.

5.2 Saran

Hasil penelitian dari rancangan sistem pada prototipe otomasi SPAM Temuireng masih dalam skala laboratorium dapat menunjukkan adanya perbaikan. Maka untuk optimasi hasil yang lebih baik

diperlukan penelitian lebih lanjut untuk skala *pilot plant* agar dapat diterapkan dalam kondisi dan keadaan yang sebenarnya di lapangan.

Teknologi otomasi SPAM Temuireng dapat diuji cobakan dengan media filtrasi yang lebih beragam dan mempunyai sifat sebagai penukar ion agar dapat mengikat dan menahan partikel cemaran pada saat air melewati bahan filter tersebut sehingga air hasil produk dapat memenuhi persyaratan sebagai air minum.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrino, R., Triwiyatno, A., & Sumardi. (2017). Perancangan sistem otomatisasi berbasis programmable logic controller (PLC) omron CPM1A pada prototipe alat pengolah susu murni menjadi susu pasteurisasi aneka rasa. *Transient*, 6(1), 37–44.
- Asdak, C. (1995). *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Australian Government, National Health and Medical Research Council, & Natural Resource Management Ministerial Council. (2017). *Australian Drinking Water Guidelines 6*.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2009). *Pemanenan Air Hujan (Rain Water Harvesting)*.
- Badan Pusat Statistik Propinsi D.I. Yogyakarta. (2018). *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Angka* (Bidang Integrasi Pengolahan dan Diseminasi Statistik, Ed.). Retrieved from <https://yogyakarta.bps.go.id/publication/download.html>
- Bolt, G. H. (1976). *Adsorption of anions by soils*. In : "Soil Chemistry" (G.H. Bolt & M. G. M. Bruggenwert, eds.). Amsterdam :91-95.
- Bureau of Meteorology. (2019). *Water in Australia 2017–18*.
- Clarke, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes is community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117-143.
- Dubey, S., Agarwal, M., Gupta, A. B., Dohare, R. K., & Upadhyaya, S. (2017). Automation and control of water treatment plant for defluoridation Automation and control of water treatment plant for defluoridation. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 4(26), 6–11. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2017.426002>
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (2008). *Fundamentals of Automation Technology, technical book*. Germany: Denkendorf.
- Engelman, R. And LeRoy, P. (1993). Sustainable Water; Population and the Future of Renewable Water Supplies. Population and Environment Program, Population Action International, Washington DC.
- EPA Building. (2019). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/William_Jefferson_Clinton_FederaF_Building

- Frederick, J.E. (1993). Ultraviolet sunlight reaching the earth's surface: a review of recent reserach. *Photochemistry and Photobiology*, 57(1), 175-178.
- Gleick, P.H. (1993). *Water in Crisis A Guide to the World's Fresh Water Resource*. New York: Oxford University Press.
- Gowtham, R., Varunkumar, M. C., & Tulsiram, M. P. (2014). Automation in Urban Drinking Water Filtration , Water Supply Control , Water Theft Identification Using PLC and SCADA and Self Power Generation in Supply Control System. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 3(7), 698–703.
- Groover, M.P. (2008). *Automation, Production Sustems, and Computer-Integrated Manufacturing*. United State: Prentice Hall.
- Hoek, J. P. van der, Bertelkamp, C., Verliefe, A. R. D., & Singhal, N. (2014). Practical Paper Drinking water treatment technologies in Europe: state of the art – challenges – research needs J. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, (3), 124–131. <https://doi.org/10.2166/aqua.2013.007>
- Improving the Quantity , Quality and Use of Africa ' s Water*. (2015).
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2009). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009 Tentang Pemanfaatan Air Hujan*.
- Kusumadewi, D. A., Djakfar, L., & Bisri, M. (2012). *UNTUK MEREDUKSI GENANGAN*. 3, 258–276.
- Mandala, H., Rachmat, H., Atmaja, D. S. E., Studi, P., Industri, T., Industri, F. R., & Telkom, U. (2015). Perancangan Sistem Otomatisasi Penggilingan Teh Hitam Orthodox Menggunakan Pengendali PLC Siemens S7 1200 dan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) di PT . Perkebunan Nusantara VIII Rancabali. *E-Proceeding of Engineering*, 2(1), 990–997.
- Mcintosh, A. C. (2014). *Urban Water Supply and Sanitation in Southeast Asia: A Guide to Good Practice*.
- Nestmann, F., Oberle, P., Ikhwan, M., Klingel, P., Stoffel, D., & Solichin. (2011). Development of Underground Hydropower Systems for Karst Areas – Pilot Study Java, Indonesia. Asian Trans Disciplinary Karst Conference. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta 7-10 Januari 2011.

- Nurhayata, I. G., & Santiyadnya, N. (2016). Sistem Kontrol Kran Solenoid Berbasis Rfid Pada Sistem Layanan Air Minum Desa. *Seminar Nasional Riset Inovatif (SENARI)*, 59–69.
- Postel, S. (1992). *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. New York: Worldwatch Institute WW Norton & Co.
- Putranto, A., Mukti, A., Sugiono, D., Karim, S., Rawung, A. E., Susa'at, S., & Sugiono. (2008). *Teknik Otomasi Industri untuk Sekolah Menengah Kejuruan*.
- Rosegrant, M. W., & Perez, N. D. (1997). *Water Resources Development In Africa: A Review And Synthesis Of Issues, Potentials, And Strategies For The Future*.
- Ross, D. A. (1970). *Introduction to Oceanography*. Meredith Corporation, New York: 106-124.
- Roukas, T. (1996). Ethanol production from non-sterilized beer molasses by free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells using fed-batch culture. *Journal of Food Engineering*, 27, 87-96.
- Schroeder, E.D. (1977). *Water and wastewater treatment*. Mc Graw-Hill: 357 pp.
- Sugiarto, B., & Suharwanto. (2017). Pengembangan Pemanfaatan Pengolahan Air Dalam Upaya Pemenuhan Kebutuhan Air di Dusun Temuireng, Desa Girisuko, Panggang, Gunungkidul. *Eksergi*, 14(2), 40–52.
- Susana, T. (2003). sumber:www.oseanografi.lipi.go.id. *Oseana*, XXVIII(3), 17–25.
- The National Academies. (2008). *Drinking Water Understanding the Science and Policy behind a Critical resource*.
- Tikkanen, A. (n.d.). Shadoof-Anatolia-Turkey.
- United States Environment Protection Agency. (2009). *Water on Tap What You Need to Know*.
- Wardhana, W. A., (1999). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset Yogyakarta.
- Wiyono, N., Faturrahman, A., & Syauqiah, I. (2017). Sistem Pengolahan Air Minum Sederhana (Portable Water Treatment). *Konversi*, 6(1), 27–35.
- World Bank. (1994). *The World Bank Annual Report*.

World Health Organization Regional Office for Europe. (2002). *Water and health in Europe. A joint report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe* (Vol. 7).

World Health Organization Regional Office for South-East Asia. (2010). *Drinking Water Quality In The South-East Asia Region*.

World Wildlife Fund. (2002). *The Facts on Water in Africa*.

GLOSARIUM

Air tanah	Air yang terletak di dalam tanah dengan formasi geologi yang sepenuhnya jenuh.
Akuifer	Lapisan bawah tanah dari batu jenuh, pasir atau kerikil yang menyerap air dan keluar melalui pori.
Arsenik	Unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol As dan nomor atom 33. Ini adalah bahan metaloid yang terkenal beracun dan memiliki tiga bentuk alotropik; kuning, hitam, dan abu-abu. Arsenik dan senyawa arsenik digunakan sebagai pestisida, herbisida, insektisida, dan dalam berbagai alloy.
Arsenikosis	Keracunan zat jenis arsen yang sangat berbahaya bagi manusia, karena tidak berbau dan tidak berasa terutama didapat dari minuman dan air tanah yang terkontaminasi.
<i>Cryptosporidiosis</i>	Penyakit diare yang disebabkan oleh parasit mikroskopis, <i>cryptosporidium</i> , yang dapat hidup di usus manusia dan hewan yang ditularkan melalui kotoran orang atau hewan yang terinfeksi.
Desalinasi	Proses mengeluarkan garam dari air payau.
Disinfektan	Bahan kimia yang digunakan untuk mencegah terjadinya infeksi atau pencemaran oleh jasad renik atau obat untuk membasmi kuman penyakit.
<i>Fluoride</i>	Senyawa fluor dengan elemen atau kelompok lain, terutama garam anion F^- atau senyawa organik dengan fluor yang terikat pada gugus alkil.
Kontaminan	Bahan-bahan yang tidak dikehendaki, yang dapat tercampur atau berada di dalam makanan atau minuman.

Mikroorganisme	Organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat bantuan.
Patogen	Agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya.

TENTANG PENULIS



Eko Nursubiyantoro menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional (UPN) "Veteran" Yogyakarta pada Tahun 2002, dan menyelesaikan S2 Teknik Industri pada kampus yang sama Tahun 2011. Mulai menjadi Dosen Jurusan Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta tahun 2005. Selain mengajar juga aktif melakukan tridharma lainnya yaitu Penelitian dan Pengabdian Masyarakat. Aktif dalam berbagai kegiatan sosial dilingkungan kampus maupun masyarakat sekitar tempat tinggalnya.



Ismianti menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Industri Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta pada Tahun 2012, dan menyelesaikan S2 Teknik Industri UGM pada Tahun 2018. Ia bergabung menjadi Dosen Jurusan Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta pada Tahun 2019. Beberapa kegiatan yang pernah diikutinya adalah seminar nasional dan internasional, menulis jurnal dan buku untuk menunjang proses mengajarnya.



Astrid Wahyu Adventri Wibowo menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Industri Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS) pada Tahun 2015, dan menyelesaikan S2 Teknik Industri Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta pada Tahun 2017. Ia bergabung menjadi Dosen Jurusan Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta pada Tahun 2019. Seminar nasional dan internasional pernah diikutinya selama menempuh pendidikan formal.

OTOMASI SISTEM PENGOLAHAN AIR

Air merupakan senyawa kimia paling berlimpah di alam, namun seiring dengan perkembangan taraf hidup manusia maka kebutuhan air pun meningkat. Pada kondisi lain resapan air yang menjadi sumber air banyak berkurang karena berbagai kebutuhan perumahan, perkantoran, dan industri tanpa memedulikan fungsi sebagai simpanan air masa depan. Kelangkaan air dapat menyebabkan terganggunya kehidupan makhluk, di beberapa daerah di dunia terdapat daerah-daerah yang mengalami kelangkaan air bersih.

Daerah Gunung Kidul merupakan salah satu daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia yang mengalami kesulitan memperoleh air. Pengembangan teknologi pengolahan air minum di Dusun Temuireng, Desa Girisuko, Panggang, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta telah dilaksanakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Penelitian yang telah dilakukan berhasil mengembangkan otomatisasi sistem proses pengolahan air minum secara terintegrasi, dengan beban pekerjaan operator lebih ringan dan terstruktur dengan baik.



Penerbit:
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA

ISBN 978-623-7840-15-2

