



TUGAS AKHIR - RE 141581

Studi Literatur Perencanaan dan Algoritma Pembentukan DMA (*District Metered Area*)

AYU NOER ANNISA
3312100085

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD.
NIP. 195001141979031001

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - RE 141581

Planning and Algorithm to Design DMAs (District Metered Area): A Review

AYU NOER ANNISA
3312100085

Supervisor
Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD.
NIP. 195001141979031001

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

Studi Literatur Perencanaan dan Algoritma Pembentukan DMA (District Metered Area)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

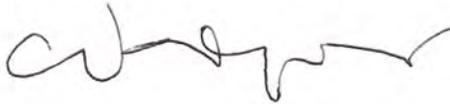
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AYU NOER ANNISA
NRP 3312100085

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195001141979031001



Studi Literatur Perencanaan dan Algoritma Pembentukan DMA (*District Metered Area*)

Nama mahasiswa : Ayu Noer Annisa
NRP : 3312100085
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen pembimbing : Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD.

ABSTRAK

Pembentukan DMA adalah salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menekan tingkat kehilangan air fisik. Suatu kota dapat mempunyai ratusan DMA. DMA merupakan singkatan dari *district metered area*. Hal tersebut berarti bahwa suatu DMA adalah suatu wilayah atau area yang dibatasi oleh satu atau beberapa meter air. Air total yang masuk ke area tersebut hanya dicatat oleh meter air DMA yang bersangkutan. Daerah yang dibatasi tersebut adalah daerah yang tertutup. Antara satu DMA dan DMA lain tidak mempunyai hubungan. Sehingga, kehilangan air dapat diketahui lebih spesifik untuk masing-masing DMA.

Pembacaan meter air pelanggan setiap satu bulan sekali dilakukan bersamaan dengan pembacaan meter air utama yang ada di masing-masing DMA. Sehingga, perhitungan air terjual bisa dihitung di setiap DMA yang ada. Akumulasi perhitungan air terjual dari setiap meter air pelanggan seharusnya sama dengan air yang terbaca di meter air induk (meter air DMA). Sehingga jika terdapat ketidaksesuaian, maka dapat diketahui bahwa terdapat kebocoran di DMA tersebut. Adanya DMA dapat memudahkan pemantauan keberadaan kebocoran.

Selama ini, perencanaan DMA hanya didasarkan oleh kemampuan teknik dan pengalaman lapangan staf yang berkecimpung dalam merencanakan DMA. Peneliti-peneliti tengah melakukan penelitian mengenai perencanaan DMA menggunakan algoritma. Kemudian hasilnya disimulasikan dan dapat diketahui dampak dari perencanaan DMA itu sebelum

DMA diimplementasikan. Perencanaan DMA dapat melibatkan optimasi biaya konstruksi, kehilangan uang karena air yang hilang, dan *discounting rate*. Perencanaan DMA menggunakan algoritma dan juga program komputer diharapkan akan semakin berkembang, hal ini seperti maraknya penggunaan EPANET, WaterCAD, dan perangkat lunak lain pendukung sistem jaringan distribusi.

Kata kunci: DMA, algoritma, kehilangan air, kebocoran fisik

Planning and Algorithm to Design DMAs (District Metered Area): A Review

Student's name : Ayu Noer Annisa
NRP : 3312100085
Department : Environmental Engineering
Lecture : Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD.

ABSTRACT

DMA planning is one of many efforts that can reduce water loss in water distribution system. It is reduced water loss through the data management because it can serve more detail data. A city can have hundreds of DMA. DMA stands for *district metered area*. DMA boundaries an area with *valves* and water meter(s). A water supply to the area is read and monitored by the water meter. There is no connection between one DMA and another DMA. It is because each DMA has its own water meter and there are *valves* between them. So the water loss can be known more specifically by reading the data that served by each DMAs.

Water meter reading in each consumer every month can be done simultaneously with DMA's water meter reading. Accounted water can be known for each DMA. Accumulation of DMA's water meter should be same with the sum of accounted consumer water meter for area that served by that DMA. If the result is not the same then there must be a loss in the distribution system. That loss can be physical or commercial losses. If it was a physical losses, then a DMA can give more narrow area. So, it will be easier to search the leak area.

During this time, the DMAs planning is solely based on technical ability and experience of field staff who are involved in planning DMAs. More recently, researcher has been done on planning DMAs using the algorithm. Then, the results are simulated and the impact of the DMAs planning can be seen quickly. In addition, the DMA planning can also involve the optimization of construction costs, loss of money due to water

loss, and discounting rate. Planning DMAs using algorithms and computer programs are also expected to be growing. Like the widespread use of the EPANET, WaterCAD, and other software systems that really supporting the distribution network.

Keywords: DMA, algorithm, water losses, physical losses

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Distribusi Air Minum.....	5
2.2 Pemodelan Jaringan Distribusi Air	8
2.3 Metode Awal Analisis Kehilangan Air	11
2.3.1 Pembuatan Neraca Air	11
2.3.2 Perhitungan ILI	14
2.4 Jenis Kehilangan Air	16
2.4.1 Kehilangan Air Fisik	17
2.4.2 Kehilangan Air Komersial	21
2.5 Pengertian DMA (<i>District Metered Area</i>).....	22
2.6 Perencanaan DMA	24
2.7 Pemilihan Meter DMA.....	29
2.8 Pemantauan DMA	31
2.9 Simbol-simbol yang Digunakan Dalam Flowchart	36
BAB 3 METODE STUDI.....	39
3.1 Umum	39
3.2 Kerangka Studi	39
3.3 Ide Studi.....	39
3.4 Tujuan.....	41
3.5 Hasil dan Pembahasan	41
3.6 Kesimpulan dan Saran	41
BAB 4 PERENCANAAN DMA	43
4.1 Tahapan Perencanaan DMA	43

4.1.1	Menyiapkan Peta Jaringan Distribusi Air Minum	45
4.1.2	Menetapkan Rentang Jumlah Sambungan Rumah Dalam Satu DMA	48
4.1.3	Membentuk DMA sesuai dengan rentang yang telah ditetapkan.....	48
4.1.4	Menutup/ Membuat Valve-Valve Batas Antara Satu DMA Dengan DMA Yang Lain	78
4.1.5	Melakukan Pemasangan Meter Air	80
4.1.6	Memastikan DMA Sudah Terisolasi	81
4.2	Contoh Perencanaan DMA.....	81
4.2.1	Menyiapkan Peta Jaringan Air Minum	82
4.2.2	Menetapkan Rentang Jumlah dan Membentuk DMA	84
4.2.3	Menutup/ Membuat Valve dan Memasang Meter Air	89
4.2.4	Memastikan DMA Sudah Terisolasi	89
4.3	Contoh Algoritma yang Digunakan untuk Membentuk DMA	90
4.4	<i>Performance Indices</i>	97
4.5	BOQ dan RAB DMA yang Direncanakan	106
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		109
5.1	Kesimpulan	109
5.2	Saran	109
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN A.....		119
BIOGRAFI PENULIS.....		120

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Satuan Internasional Parameter di EPANET	11
Tabel 2.2 ILI Berdasarkan Standar <i>World Bank Institute</i>	14
Tabel 2.3 Indikator yang Direkomendasikan untuk Kehilangan Air Fisik dan Kebocoran Air	16
Tabel 2.4 Tabel Persyaratan Standpipe	28
Tabel 2.5 Peralatan dan bahan berdasarkan gambar 3.9	31
Tabel 4.1 Algoritma yang Digunakan dalam Pemilihan Area dalam Membentuk DMA	51
Tabel 4.2 Tabel Ir, Ird, dan Pmin Pada Pembentukan DMA dengan Metode yang Berbeda pada 3,4, dan 5 Titik Pengukuran	60
Tabel 4.3 Algoritma yang Digunakan untuk Mendesain DMA73	
Tabel 4.4 Data Kebutuhan Air di Daerah Perencanaan	82
Tabel 4.5 Performance Indices Sistem Jaringan Distribusi Air Minum Sebelum (A) dan Sesudah (B) Pembentukan DMA	105
Tabel 4.6 BOQ dan RAB Pengerjaan <i>Boundary Valve</i> dan Meter Air DMA	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Macam-macam Jaringan Pipa.....	7
Gambar 2.2 Halaman Muka EPANET	8
Gambar 2.3 Neraca Air (<i>Water Balance</i>) yang Menunjukkan Komponen-Komponen NRW.....	13
Gambar 2.4 Waktu Bocor dan Volume Kehilangan Air	18
Gambar 2.5 Profil Aliran DMA Selama 24 Jam	19
Gambar 2.6 Minimum Nigt Flow (MNF) Tipikal di Dalam Suatu DMA	20
Gambar 2.7 Tata Letak DMA secara Umum	22
Gambar 2.8 Desain DMA Secara Umum	25
Gambar 2.9 Desain Halifax Regional Water Commission Meter Chamber	26
Gambar 2.10 Desain sederhana DMA meter chamber yang digunakan di HRWC.....	27
Gambar 2.11 Potongan <i>Gate Valve</i>	29
Gambar 2.12 Pemasangan Meter dan <i>bypass</i> yang direkomendasikan di UK	30
Gambar 2.13 Variasi Kebocoran Terhadap Waktu	32
Gambar 2.14 Contoh <i>valve</i> dalam sistem distribusi	36
Gambar 3.1 Kerangka Penyusunan Tugas Akhir.....	40
Gambar 4.1 Tampilan GIS.....	46
Gambar 4.2 Informasi Pipa.....	47
Gambar 4.3 Pembentukan DMA berdasarkan (a) Prosedur MLBR (b) prosedur <i>automatic</i> , (c) prosedur BFS ...	58
Gambar 4.4 Penentuan Peletakkan Meter Air dan Valve Pada Jaringan Distribusi Air Minum	59
Gambar 4.5 Peletakkan Meter Air DMA menggunakan Metode Global Gradient dan Optimisasi	61
Gambar 4.6 Pengelompokkan DMA Menggunakan <i>Dijkstra</i> <i>Algorithm</i>	61
Gambar 4.7 Pembentukan DMA berdasarkan <i>community</i> <i>detection</i> (kanan) dibandingkan dengan jaringan distribusi eksisting (kiri)	62
Gambar 4.8 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Social</i> <i>Network Theory</i>	63

Gambar 4.9 Pembentukan DMA Berdasarkan <i>Graph Theory</i> dan <i>Multi-Objective Algorithm</i>	64
Gambar 4.10 Pembentukan DMA berdasarkan (a) algoritma DFS dan (b) <i>ant algorithm</i>	65
Gambar 4.11 Pembentukan DMA berdasarkan (a) <i>EBC algorithm</i> , (b) <i>FGC algorithm</i> , (c) <i>MA algorithm</i> , dan (d) <i>MLRB algorithm</i>	65
Gambar 4.12 Pembentukan DMA berdasarkan BFS,	66
Gambar 4.13 Batas DMA berdasarkan (a) hidrolika, (b) karakteristik fisik jaringan, (c) <i>performance indicators</i>	67
Gambar 4.14 Jaringan Distribusi sebelum dibentuk DMA (kiri) dan setelah dibentuk DMA (kanan)	68
Gambar 4.15 Pembentukan DMA di sistem jaringan distribusi	69
Gambar 4.16 Pembentukan DMA Menggunakan Graph Partitioning (Sumber: Perelman <i>et al.</i> , 2014).....	71
Gambar 4.17 Pembentukan DMA berdasarkan metode	72
Gambar 4.18 Kebutuhan Air (L/orang.hari) di Surabaya	83
Gambar 4.19 Zona DMA di Kota Surabaya	85
Gambar 4.20 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi Air Minum Perumahan Rungkut Mapan	87
Gambar 4.21 Meter DMA	89
Gambar 4.22 Pembentukan Algoritma Menggunakan <i>Social Network, Genetic Algorithm, dan Monte Carlo Simulation</i>	90
Gambar 4.23 Pembentukan Algoritma Menggunakan <i>Social Network, Genetic Algorithm, dan Monte Carlo Simulation</i>	91
Gambar 4.24 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Label Propagation Algorithm</i>	92
Gambar 4.25 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Social Network Theory</i>	93
Gambar 4.26 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Floyd Warshall, NSGA II, dan Multi Objective Algorithm</i> ..	93
Gambar 4.27 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Ant Algorithm</i>	94

Gambar 4.28 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Community Structure</i>	95
Gambar 4.29 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Multi Agent System</i>	96
Gambar 4.30 Pembentukan DMA Menggunakan <i>Graph Partitioning, Multiobjective Optimization, dan NSGA II</i>	97
Gambar 4.31 DMA Rungkut Mapan Permai, Rungkut Mapan Barat, dan Rungkut Mapan Tengah	99
Gambar 4.32 Valve-valve Pemantauan DMA (<i>Flow Step-testing</i>).....	101

”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

IPCC (2014) memperkirakan bahwa peningkatan suhu menyebabkan terjadinya gelombang panas. Hal tersebut mengakibatkan penguapan akan semakin sering terjadi di beberapa wilayah di dunia. Oleh karena itu, sektor air harus dimanfaatkan sebaik dan seefektif mungkin. Di daerah perkotaan, produktifitas air kurang optimal. Salah satu faktor produktifitas dapat dinilai dari tingkat kehilangan air. Kehilangan air dapat digambarkan sebagai selisih antara air yang didistribusikan dan jumlah air yang dibayar oleh konsumen (Lambert *et al.*, 2014).

Kelangkaan air adalah masalah utama yang melingkupi banyak negara. Hal tersebut menyebabkan perhatian kepada efisiensi dan *reliability* terhadap air sangat besar disamping harus menjaga kontinuitas ketersediaan air. Sehingga ada fokus utama dilakukan terhadap performansi dari segi operasional sistem. Operasi dan kontrol terhadap distribusi air secara optimal meliputi (1) meminimalkan biaya yang dibutuhkan untuk pemompaan, (2) peraturan mengenai tekanan untuk menghindari kebocoran, dan (3) mengoptimalkan kualitas air minum dengan cara mengurangi waktu tinggal air di dalam pipa/ jaringan (Lambert *et al.*, 2014).

Menurut Laporan PU (2014) sebanyak 38,4% air yang diproduksi oleh PDAM di Indonesia hilang sehingga tidak terbayarkan. Hal ini menyebabkan kerugian sebesar Rp 1,139 Triliun setiap tahunnya. Kehilangan air ini terdiri dari konsumsi resmi tak berekening (1,9%), kehilangan air komersial (11,5%) dan kehilangan air fisik (25%).

Kunci manajemen kehilangan air dalam pipa distribusi adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan, baik fisik maupun non-fisik. Kemudian, strategi dapat disusun untuk mencari solusi sesuai permasalahan yang ada (Farley dan Limberger, 2005). Sistem distribusi air adalah komponen utama dari infrastruksur sipil dalam hal penyediaan

air. Penelitian dalam bidang distribusi air minum mempunyai fokus ke pendekatan menggunakan simulasi, kalibrasi, dan desain optimalisasi dari suatu jaringan (Lambert *et al.*, 2014).

Bagi kebanyakan sistem, tingginya tingkat kehilangan air (*non-revenue water/ NRW*) terdiri dari kebocoran (kehilangan fisik) dan air yang tidak dapat dibayarkan oleh konsumen (kehilangan komersial) (Lambert *et al.*, 2014). Kehilangan nonfisik/ komersial dapat dirinci menjadi empat elemen fundamental, ketidakakuratan meter pelanggan, konsumsi tak resmi, kesalahan pembacaan meter, kesalahan penanganan data dan pembukuan. Sedangkan kehilangan fisik dapat terjadi karena; kebocoran pada pipa transmisi, kebocoran pada pipa distribusi, kebocoran pada tempat penampungan air dan luapan kebocoran pada sambungan pipa pelanggan (Farley, dkk., 2008).

Terdapat dua macam sistem distribusi, yakni sistem terbuka dan sistem tertutup. Pengelolaan NRW pada sistem terbuka yang dijalankan secara pasif dilakukan hanya ketika kehilangan mulai nampak terlihat atau dilaporkan. Satu pendekatan yang lebih efektif adalah dengan mewujudkan pengelolaan NRW yang aktif (Farley, dkk., 2008).

Beberapa sistem distribusi air tidak memiliki DMA dalam sistem manajemennya. Akan tetapi, sistem tersebut akan sukses mengontrol kebocoran jika mempunyai; kualitas infrastruktur yang sangat bagus, biaya perbaikan dan operasi yang rendah, dan tekanan yang stabil. Sehingga, untuk mengurangi kekurangan tersebut sistem distribusi dapat menggunakan DMA sebagai salah satu strategi kebocorannya (Morisson *et al.*, 2007). Selain itu, Farley dkk., 2008, juga menyebutkan bahwa pengelolaan NRW yang aktif hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan zona-zona. Zona-zona merupakan kawasan bermeter (*District Metered Area/ DMA*) yang harus terisolasi secara hidraulis.

Zonasi pada jaringan sistem distribusi air minum dapat menurunkan tingkat NRW. Penurunan NRW memiliki banyak manfaat, antara lain; tersedianya akses tambahan untuk PDAM dalam bentuk perputaran uang yang dihasilkan sendiri (*self-generated cash flow*), pengurangan sambungan-sambungan

ilegal sehingga tercipta keadilan antar para pengguna, meningkatkannya layanan pelanggan, dan tersedia peluang-peluang usaha baru (Farley, dkk., 2008).

Membentuk serangkaian DMA bukan hanya menargetkan pengurangan NRW tapi juga memperbaiki kondisi aset dan layanan kepada pelanggan dengan; (1) Menjaga umur aset melalui manajemen tekanan, (2) Menjaga kualitas air, dan (3) Memungkinkan pasokan air yang berkesinambungan (Farley, dkk., 2008). Selain itu, pembentukan DMA juga dapat menyederhanakan neraca air dan mengidentifikasi kehilangan air (Di Nardo *et al.*, 2014).

Pembagian jaringan sistem distribusi menjadi DMA-DMA membagi jaringan-jaringan yang terhubung dan tidak teratur menjadi sub-jaringan yang dapat dikelola dengan lebih baik. Selain itu, pembentukan DMA memerlukan teknik yang efisien. Pembentukan DMA dapat dilakukan dengan menutup *valve* di pipa jaringan eksisting, membagi jaringan pipa, menambahkan pipa baru, dll (Izquiereo *et al.*, 2011).

Pembentukan DMA dilakukan secara empirik, berdasarkan pengalaman pihak yang bersangkutan dan sangat sedikit penelitian mengenai hal ini (Izquiereo *et al.*, 2011). Meskipun manfaat dari pembentukan DMA sangat banyak, akan tetapi literatur dan penelitian mengenai cara mendesain DMA amat sedikit (Gomes *et al.*, 2014). Beberapa literatur telah menyebutkan algoritma-algoritma yang dapat digunakan untuk mendesai algoritma dengan beberapa tujuan yang ingin dicapai dan batasan yang ditetapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Tingkat kehilangan air semakin tahun ditargetkan semakin menurun. Pemantauan terhadap kehilangan air mutlak diperlukan, sehingga diperlukan suatu cara untuk dapat mempermudah pemantauan kehilangan air. Salah satu pemantauan yang dapat dilakukan adalah dengan pembentukan DMA-DMA. Pembentukan DMA memerlukan sejumlah biaya. Sehingga, secara poin-poin Rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimanakah cara merencanakan/ mendesain *district metered area* (DMA)?
2. Bagaimanakah pengaruh *district metered area* (DMA) terhadap sistem distribusi air minum?
3. Algoritma-algoritma apa sajakah yang dapat digunakan untuk membentuk DMA?

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan cara menyusun DMA berdasarkan kajian ilmiah yang telah dilakukan oleh para ahli,
2. Mendapatkan pengaruh *district metered area* (DMA) terhadap sistem distribusi air minum,
3. Mendapatkan algoritma-algoritma yang dapat digunakan untuk membentuk DMA.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah:

1. Kajian literatur dilakukan terhadap studi yang telah dilakukan oleh ahli baik jurnal nasional maupun internasional,
2. Hal-hal yang dikaji meliputi cara pembentukan DMA (algoritma yang digunakan untuk mengelompokkan node-node menjadi DMA-DMA).

1.5 Manfaat

Komputerisasi telah memudahkan hidup kita. Seperti halnya EPANET, GIS, WaterCAD yang telah jamak digunakan di bidang distribusi air minum. Perencanaan *district metered area* (DMA) merupakan penelitian yang baru dilakukan. Belum diketahui manakah metode yang paling tepat dalam merencanakan DMA. Terlebih, metode dalam merancanginya masih sangat awam di kalangan praktisi maupun akademisi di Indonesia. Kajian tentang cara pembentukannya masih sangat sedikit. Oleh karena itu studi literatur mengenai pembentukan DMA diharapkan dapat membantu memberi wawasan mengenai pembentukan DMA.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Air Minum

Analisis pipa pada dasarnya menggunakan prinsip-prinsip dasar hidrodinamika. Secara umum hidrodinamika mengatur pengaliran pipa-pipa yang meliputi prinsip-prinsip dasar persamaan debit, persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli. Komponen penting lain dalam analisis pipa adalah perhitungan kehilangan tinggi tekan besar dan kecil yang diakibatkan oleh gesekan dan gangguan lokal terhadap pipa, misalnya perubahan penampang pipa, belokan, halangan, dan perlengkapan pipa (Klaas, 2009). Debit adalah banyaknya fluida yang mengalir tiap satuan waktu melalui setiap irisan pipa atau saluran.

$$Q = A \cdot v$$

Rumus 2.1

Q: debit (m^3/detik)

V: kecepatan rata-rata (m/detik)

A: luas penampang aliran (m^2)

Persamaan kontinuitas berlaku pada aliran mantap (*steady flow*) maupun tak mantap (*unsteady flow*)

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q$$

Rumus 2.2

Fluida akan mengalami kehilangan energi selama bergerak. Kehilangan energi ini dapat berakibat pada semakin kecilnya nilai tinggi tekan atau kecepatan yang berkurang yang berakibat pada semakin kecilnya debit. Kehilangan tinggi juga dapat disebut kehilangan tinggi tekan air. Kehilangan tinggi tekan dapat disebabkan oleh karena beberapa faktor yang secara umum dibagi atas kehilangan tinggi karena tahanan oleh permukaan pipa (h_f) dan karena tahanan bentuk pipa (h_m).

$$h_L = h_f + h_m$$

Rumus 2.3

h_L : kehilangan tinggi total (m)

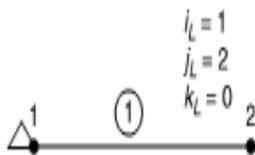
h_f : kehilangan tinggi karena tahanan oleh permukaan pipa atau head friction atau head besar (m)

h_m : kehilangan tinggi karena tahanan oleh bentuk pipa atau head aksesoris atau head kecil (m)

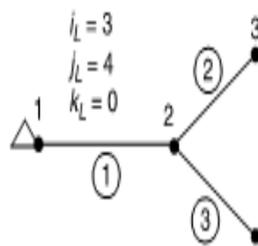
Garis kemiringan hidraulik merupakan garis yang dibentuk oleh komponen $z + h$. garis ini juga disebut dengan garis piezometrik oleh karena garis ini mewakili elevasi air yang sebenarnya pada pipa seandainya air mengalir pada penampang saluran terbuka. Garis berikutnya adalah garis kemiringan energi yang merupakan kumulatif dan komponen z , h , dan $v^2/2g$. Garis ini menentukan mengalir tidaknya air dalam pipa dimana air mengalir dari titik tinggi energi yang lebih besar dari titik lainnya.

Douglas (1986) dalam Klaas menyebut h_f sebagai kehilangan tinggi besar dan h_m sebagai kehilangan tinggi kecil sebagaimana dalam uraian berikut:

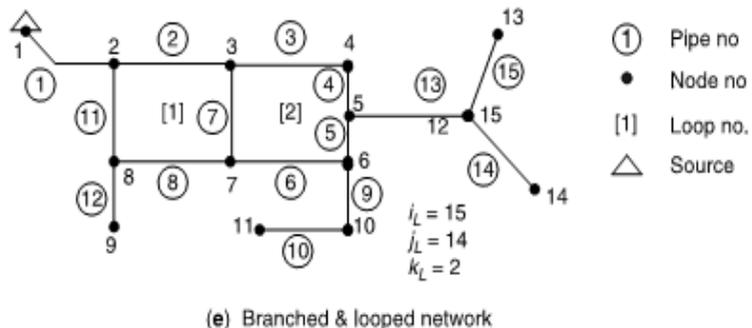
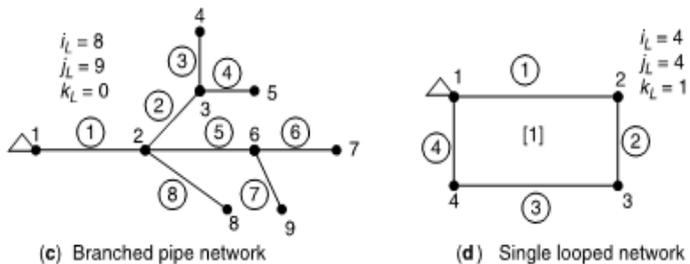
- a. Kehilangan tekanan mayor (*major losses*), h_f
 Walau menggunakan teorema Bernoulli untuk kondisi ideal tanpa gesekan (*frictionless*), setiap pipa memiliki tahanan gesekan terhadap gerak air (*frictional resistance*) oleh karena kekasaran pipa.
- b. Kehilangan tekanan minor (*minor losses*), h_m
 Kehilangan tinggi ini disebabkan oleh gangguan lokal terhadap aliran normal dalam pipa. Beberapa contoh gangguan lokal tersebut adalah: lubang masuk dan keluar ke dan dari dalam pipa, perubahan bentuk penampang tiba-tiba, belokan pipa, halangan (tirai, pintu air), perlengkapan pipa (sambungan, katup, percabangan, dan lain-lain).



(a) Single pipe network



(b) Three pipes network



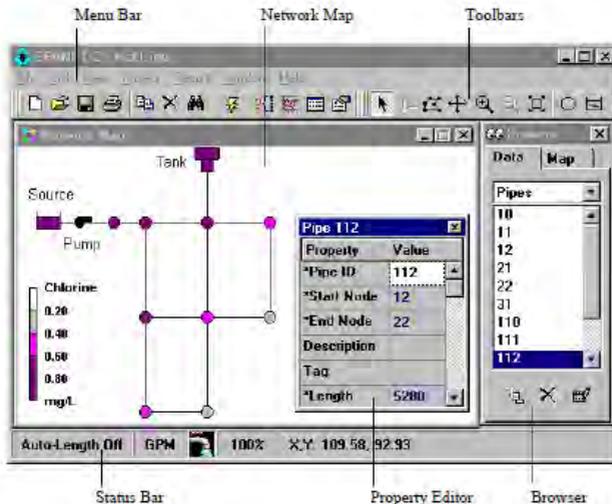
Gambar 2.1 Macam-macam Jaringan Pipa
(Sumber: Swamee dan Sharma, 2008)

Jaringan pipa dapat berupa jaringan yang bercabang, jaringan loop, maupun gabungan dari kedua jaringan tersebut. Jaringan bercabang adalah jaringan yang dimulai dari satu titik menuju ke titik lain. Sedangkan jaringan loop adalah jaringan yang berawal dan berakhir di titik yang sama. Jaringan loop memungkinkan aliran air yang bervariasi. Jaringan kombinasi keduanya adalah jaringan sistem distribusi yang memiliki kedua tipe jaringan pipa tersebut. Sebagai misal, di daerah A jaringannya adalah jaringan loop, sedangkan di daerah lainnya adalah jaringan bercabang. Namun, jaringan tersebut dihubungkan oleh satu atau beberapa pipa (Swamee dan Sharma, 2008).

2.2 Pemodelan Jaringan Distribusi Air

Sistem distribusi air adalah infrastruktur yang terdiri dari pipa, pompa, *valve*, dll. Pemodelan komputasi sangat bermanfaat untuk desain, konstruksi, dan pemeliharaan dalam sistem jaringan distribusi air minum. Dalam rangka memastikan kuantitas dan kualitas air yang didistribusikan, penggunaan perangkat lunak komputer sering dilakukan. Dari sekian banyak perangkat lunak yang ada, salah satu perangkat lunak yang sering digunakan adalah EPANET (Ramana *et al.* 2015).

EPANET adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidraulik yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari pipa, node (titik koneksi pipa), pompa, katup, dan tangki air atau reservoir. EPANET menelusuri aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran (Rossman, 2000).



Gambar 2.2 Halaman Muka EPANET
(Sumber: Rossman, 2000)

Hal-hal yang dibutuhkan di EPANET meliputi:

- Rumus yang digunakan, rumus yang tersedia di EPANET ada 3 macam rumus. Rumus tersebut adalah Hazen-Willian, Darcy-Weisbach, dan Cozeny-Manning. Ketika ingin menjalankan perhitungan di EPANET, maka kita dapat memilih salah satu rumus di atas,
- Panjang pipa, panjang pipa harus diketahui atau direncanakan sebelumnya. Pipa dalam EPANET digambarkan sebagai garis. Garis ini akan menghubungkan antara satu node dan node lainnya, antara reservoir dan node, antara node dan pompa,
- Letak node-node, selain panjang pipa EPANET juga membutuhkan letak-letak node. Node adalah titik yang berada persimpangan atau pertigaan atau belokan. Node ini mewakili beberapa sambungan rumah,
- Koefisien kekasaran, koefisien kekasaran sangat penting dalam perhitungan di dalam sistem jaringan distribusi, koefisien kekasaran menggambarkan hambatan yang akan dilalui air saat melalui pipa. Beberapa satu hal yang mempengaruhi koefisien ini adalah jenis/ bahan pipa dan umur,
- Debit yang dilayani, nilai debit ini dimasukkan ke dalam node-node yang ada. Besarnya debit sesuai dengan besarnya kebutuhan air yang dilayani oleh node tersebut,
- Elevasi

Macam-macam *valve* yang ada di EPANET meliputi:

- *Pressure Reducing Valve* (PRV)
PRV membatasi tekanan pada titik pada jaringan pipa. EPANET menghitung tiga perbedaan status dari PRV, yaitu:
(1) Terbuka Sebagian (aktif) untuk mencapai tekanan itu pengaturan pada sisi hilir ketika sisi hulu di atas pengaturan. (2) Terbuka Penuh jika tekanan di hulu dibawah pengaturan. (3) Tertutup jika tekanan di sisi hilir melebihi dari sisi hulu (aliran kebalikan tidak dibolehkan)

- *Pressure Sustaining Valve (PSV)*
PSV menjaga pengaturan tekanan pada titik yang spesifik pada jaringan pipa. EPANET menghitung tiga kondisi yang ditetapkan untuk PSV, yaitu:
(1) Sebagian terbuka (aktif) untuk menjaga pengaturan pressure pada bagian sisi hulu ketika tekanan di bagian hilir dibawah nilainya. (2) Terbuka penuh jika tekanan di hilir diatas pengaturan. (3) Tertutup jika tekanan pada hilir melebihi pada hulu (misal aliran kebalikannya tidak dibolehkan).
- *Pressure Breaker Valve (PBV)*
PBV memaksa tekanan yang spesifik yang hilang supaya muncul melalui *valve*. Aliran melalui *valve* dapat dari arah sebaliknya. PBV tidak berupa alat yang nyata, tapi dapat menggunakan situasi model dimana penurunan tekanan yang terpisah diketahui dan nyata.
- *Flow Control Valve (FCV)*
FCV membatasi aliran dalam harga yang spesifik. Program membuat pesan peringatan jika aliran tidak dapat dijaga tanpa menambah tekanan pada *valve* (aliran tidak dapat menjaga jika *valve* dibuka penuh).
- *Trottle Control Valve (TCV)*
TCV mensimulasikan tertutup sebagian dengan mengatur koefisien kehilangan minor dari *valve*. Hubungan antara derajat ketika *valve* tertutup dan akibat koefien head loss biasanya tersedia dair pabrik *valve*.
- *General Purpose Valve (GPV)*
GPV digunakan untuk merepresentasikan link dimana pengguna mensuplai aliran khusus – hubungan head loss selain dari formula standar hidraulis. Dapat digunakan untuk memodelkan turbin, sumur bor, atau pengurangan *valve* pencegah aliran balik.

Satuan-satuan yang digunakan di EPANET (diambil dari buku petunjuk manualnya) dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2.1 Satuan Internasional Parameter di EPANET

PARAMETER	Satuan Internasional
Kebutuhan air	lihat satuan "Debit"
Diameter (Pipa)	Millimeter
Elevasi	Meter
Debit	LPS (liter/ sec) LPM (liter/ min) MLD (megaliter / hari) CMH (meter kubik / jam) CMD (meter kubik / hari)
Koefisien kekasaran	Tanpa
Hydraulic Head	Meter
Panjang	Meter
Tekanan	Meter
Kecepatan	Meter/ sekon
Volume	Meter kubik

Sumber: Rossman, 2000

2.3 Metode Awal Analisis Kehilangan Air

2.3.1 Pembuatan Neraca Air

Langkah pertama dalam mengurangi NRW adalah dengan mengembangkan satu pemahaman tentang gambaran besar tentang sistem air, yang mencakup penyusunan satu neraca air (juga disebut sebagai audit air di Amerika Serikat). Menurut Farley dkk., 2008, hal-hal yang diperlukan dalam perhitungan neraca air adalah:

- **Volume Input Sistem** adalah input volume tahunan ke dalam sistem penyediaan air bersih
- **Konsumsi Resmi** adalah volume tahunan air bermeter dan tidak bermeter dari pelanggan yang terdaftar, pemasok air, dan lain-lain yang secara implisit atau eksplisit mempunyai kewenangan untuk mengambil air (misalnya air yang digunakan di kantor-kantor pemerintah atau hidran pemadam kebakaran). Ini mencakup air yang diekspor dan kebocoran serta luapan setelah meter pelanggan

- **Air Tak Berekening** (NRW) adalah selisih antara Volume Input Sistem dan konsumsi resmi berekening. NRW terdiri dari konsumsi resmi tak berekening (biasanya merupakan satu komponen kecil dalam neraca air) dan kehilangan air.
- **Kehilangan Air** adalah selisih antara volume input sistem dan konsumsi resmi. kehilangan air terdiri dari kehilangan air non-fisik dan kehilangan air fisik.
- **Kehilangan Air Non-Fisik/ Komersial**, kadang-kadang disebut sebagai kehilangan yang terlihat (*apparent losses*), terdiri dari Konsumsi Tidak Resmi dan semua jenis ketidakakuratan pembacaan meter
- **Kehilangan Air Fisik**, kadang-kadang disebut sebagai kehilangan yang sesungguhnya (*real losses*), adalah volume kehilangan tahunan melalui semua jenis kebocoran, ledakan dan luapan pada pipa, reservoir pelayanan, dan pipa dinas, hingga setelah pembacaan meter.

Sehingga, empat langkah dasar untuk menyusun neraca air dapat dirangkum berikut ini:

1. Menentukan volume input sistem
2. Menentukan konsumsi resmi
 - ✓ Berekening – total volume air yang ditagih rekeningnya oleh perusahaan air minum
 - ✓ Tak berekening – total volume air yang tersedia tanpa dipungut biaya
3. Memperkirakan kerugian nonfisik/komersial
 - ✓ Pencurian air dan pemalsuan
 - ✓ Sedikitnya meter yang terdaftar
 - ✓ Kesalahan penanganan data
4. Menghitung kerugian fisik
 - ✓ Kebocoran pada pipa transmisi
 - ✓ Kebocoran pada pipa distribusi
 - ✓ Kebocoran pada tempat penampungan air dan luapan
 - ✓ Kebocoran pada sambungan pipa pelanggan

Kehilangan air dapat digambarkan atas dasar fungsi keuangan, komersial, fisik, dan harga. Masing-masing kehilangan air tersebut mempunyai tingkat kepentingan yang berbeda. Laporan yang ada di BPPSPAM menunjukkan bahwa kehilangan air diwakili oleh persentase NRW. Persentase NRW ini berdasarkan tabel neraca air merupakan fungsi kehilangan air yang berada di tingkat dasar. Persentase ini hanya menggambarkan persentase air yang tidak terbayarkan.

Volume Input Sistem	Konsumsi Resmi	Konsumsi Resmi Berekening	Konsumsi Bermeter Berekening	Air Berekening
			Konsumsi Tak Bermeter Berekening	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening	Konsumsi Bermeter Tak Berekening	Air Tak Berekening
			Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening	
	Kehilangan Air	Kehilangan Air Non- Fisik	Konsumsi Tak Resmi	
			Ketiidakakuratan Meter Pelanggan dan Kesalahan Penanganan Data	
		Kehilangan Air Fisik	Kebocoran pada Pipa Distribusi dan Transmisi	
			Kebocoran dan Luapan dari IPAM	
Kebocoran di Pipa Dinas hingga ke Meter Pelanggan				

Gambar 2.3 Neraca Air (*Water Balance*) yang Menunjukkan
Komponen-Komponen NRW
(Sumber: Farley dkk., 2008)

2.3.2 Perhitungan ILI

Perhitungan neraca air akan memberikan suatu angka yang diwakili oleh persentase (misal 0% – 100%, 0 tidak bocor sama sekali dan 100 bocor semua). Di negara berkembang nilai kebocoran berdasarkan perhitungan neraca air berkisar antara 25% - 60%, sedangkan di negara maju kebocoran air berkisar di bawah angka 10%. Akan tetapi nilai ini hanya menunjukkan seberapa besar air yang tidak dibayarkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lain untuk menilai langkah apa yang layak diambil untuk mengurangi kebocoran. Salah satunya adalah dengan menghitung nilai *International Leakage Index* (ILI) suatu sistem jaringan distribusi air minum.

ILI merupakan perbandingan dari CARL dan UARL. CARL adalah singkatan dari *Current Annual Real Losses*. CARL berarti bahwa kehilangan air fisik secara tahunan. Sedangkan UARL (*Unavoidable Annual Real Losses*) adalah kehilangan fisik yang tidak dapat dihindarkan. Semakin rendah nilai ILI menunjukkan bahwa sistem jaringan air minum tersebut baik, begitupun sebaliknya. Nilai ILI yang kecil dapat dimiliki oleh sistem jaringan air yang konstruksi pipa dan perlengkapannya bagus dan manajemen yang baik. Nilai ILI yang kecil menunjukkan bahwa CARL tidak berbeda jauh dengan UARL (maksimal setiap ada 2 satuan CARL, maka ada 1 satuan UARL).

Tabel 2.2 ILI Berdasarkan Standar *World Bank Institute*

Kelas	ILI		Deskripsi
	Negara Maju	Negara Berkembang	
A	< 2.0	< 4.0	Pengurangan kebocoran bisa saja tidak ekonomis. Diperlukan analisis mendalam untuk manajemen kebocoran yang efektif dan ekonomis.

Kelas	ILI		Deskripsi
	Negara Maju	Negara Berkembang	
B	2.0 sampai < 4.0	4 sampai < 8	Peningkatan terhadap kendali kebocoran dapat dilakukan dengan: mempertimbangkan manajemen tekanan, kontrol kebocoran secara aktif, pemeliharaan yang lebih baik.
C	4 sampai < 8	8 sampai < 16	Kebocoran mengkhawatirkan, hal ini dapat ditoleransi jika sumber yang ada murah. Kemudian dianalisis level dan penyebab kebocoran.
D	8 atau > 8	16 atau > 16	Kebocoran sangat besar, menandakan buruknya pemeliharaan dan manajemen. Sehingga, diperlukan program pengurangan kebocoran yang intensif dan diprioritaskan.

Sumber: Fantozzi *et al.*, 2005

UARL (L/hari) = {Panjang pipa utama (km) + Jumlah Koneksi (buah) + Panjang pipa sambungan rumah (Km)} x Tekanan rata-rata (m)

UARL (L/hari) = (18 x Lm + 0,8 x Nc + 25 x Lp) x P

CARL (L/hari) = $\frac{Q_{RL} \times 10^3}{N_{dwsp}}$

Q_{RL} adalah m³ kebocoran setiap tahun, dan N_{dwsp} adalah banyaknya hari sistem diberi tekanan lebih.

ILI = CARL/ UARL

2.4 Jenis Kehilangan Air

Kehilangan air disebut juga sebagai NRW (*non revenue water*). Kehilangan air mencakup kehilangan fisik dan non-fisik. Kehilangan fisik meliputi kebocoran pada sistem distribusi, IPAM, reservoir. Kehilangan komersial meliputi penggunaan air tidak resmi, ketidakakuratan meter air, perhitungan yang tidak sesuai, program komputer yang keliru. Indeks kehilangan air dipertimbangkan sebagai indikator penting dalam mengevaluasi performa sistem distribusi. Kunci utama yang mempengaruhi pembacaan meter yang keliru, termasuk pemilihan tipe meter air (volume dibanding kecepatan meter air), pemasangan dan ukuran yang tepat, umur meter air, pola konsumsi air, kualitas air, spesifikasi meter air, kondisi lingkungan, posisi meter air, profil kecepatan, penggunaan air. Survey yang telah dilakukan membuktikan bahwa umur ekonomis meter air adalah 5-10 tahun.

Langkah awal dalam mengatasi masalah kehilangan air adalah mengevaluasi performa sistem distribusi air, menggunakan metodologi yang dikenal secara internasional. Asosiasi seperti *International Water Association (IWA)* dan *American Water Work Association (AWWA)* menganjurkan penggunaan alat audit air dan metode untuk mengetahui performa sistem distribusi. Metode ini mencakup *water balance (WB)* dan *performance indicator (PI)*.

Tabel 2.3 Indikator yang Direkomendasikan untuk Kehilangan Air Fisik dan Kebocoran Air

Fungsi	Level	Kode	Performance Indicator
Keuangan: Kebocoran berdasarkan volume	1 (<i>Basic</i>)	WLPI 1	Volume NRW (% dari air yang didistribusikan)
Operasional: Kehilangan Komersial	1 (<i>Basic</i>)	WLPI 2	gal/ customer/ hari
Operasional: Kehilangan Fisik	1 (<i>Basic</i>)	WLPI 3	gal/ service connection/ hari

Fungsi	Level	Kode	Performance Indicator
Operasional: Kehilangan Fisik	2 (<i>Intermed.</i>)	WLPI 4	<i>gal/ mile of mains/ hari</i> (hanya untuk kerapatan koneksi < 32/mile) <i>gal/service connection/day/psi pressure</i> <i>gal/ mile of mains/ hari/ psi pressure</i> (hanya untuk kerapatan koneksi < 32/mile)
Keuangan: NRW berdasarkan harga	3 (<i>Detailed</i>)	WLPI 5	Harga NRW (% <i>annual cost of running system</i>)
Operasional: Kehilangan Fisik	3 (<i>Detailed</i>)	WLPI 6	<i>Infrastructure Leakage Index</i>

Sumber: Alegre *et al.*, 2000

2.4.1 Kehilangan Air Fisik

Menurut AWWARF (American Water Work Association Reaserch Foundation) yang ditulis oleh Fanner, dkk., 2007 terdapat tiga langkah utama untuk mengurangi kehilangan air fisik, yaitu:

- *Top-down water audit*
- *Component analysis of real losses*
- Evaluasi harga ekonomis untuk mengurangi kehilangan air fisik

Kehilangan air fisik dapat diperkirakan menggunakan (a) sistem *Water Balance/ WB*; (b) analisis komponen/ *CA/ component analysis*; dan *night flow analysis* (NFA). Kehilangan air fisik merupakan indikator yang bagus untuk menunjukkan keefisienan jaringan sistem distribusi. Kehilangan air fisik terdiri dari tiga macam:

1. Kebocoran yang dilaporkan dan terlihat (*reported breaks and leaks*: kebocoran yang pada umumnya mempunyai kecepatan yang tinggi, terlihat secara kasat mata, membutuhkan waktu yang singkat untuk dideteksi

2. Kebocoran yang tidak dilaporkan: biasanya terletak pada permukaan pipa yang paling bawah, deteksi keberadaannya membutuhkan waktu yang lebih lama dari kebocoran pada no 1. Dapat dicari keberadaannya menggunakan deteksi kebocoran aktif
3. Kebocoran sangat kecil: kebocoran berupa rembesan atau tetesan di sambungan pipa atau aksesoris lainnya. Kebocoran ini mempunyai kecepatan yang sangat kecil (250 L/jam). Sehingga, keberadaannya akan lama untuk dapat terdeteksi. Kebocoran ini semakin lama akan semakin besar dan menyebabkan kebocorannya dapat terdeteksi suatu saat nanti.

Kehilangan air fisik yang berupa kebocoran yang dilaporkan dan terlihat dapat dihitung menggunakan

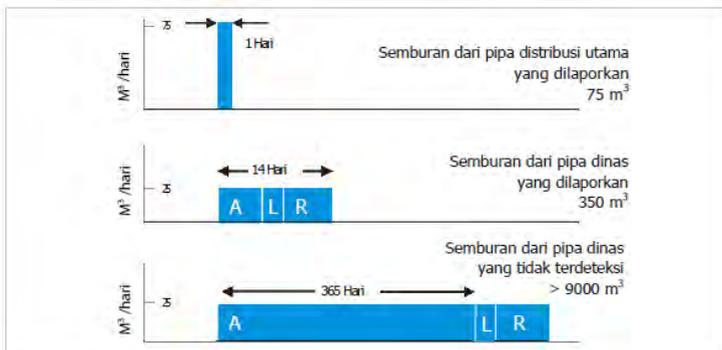
$$\text{Volume Air yang Hilang Tiap Tahun} = n \times v \times t$$

Dimana:

n: jumlah semburan yang dilaporkan

v: kecepatan rata-rata semburan

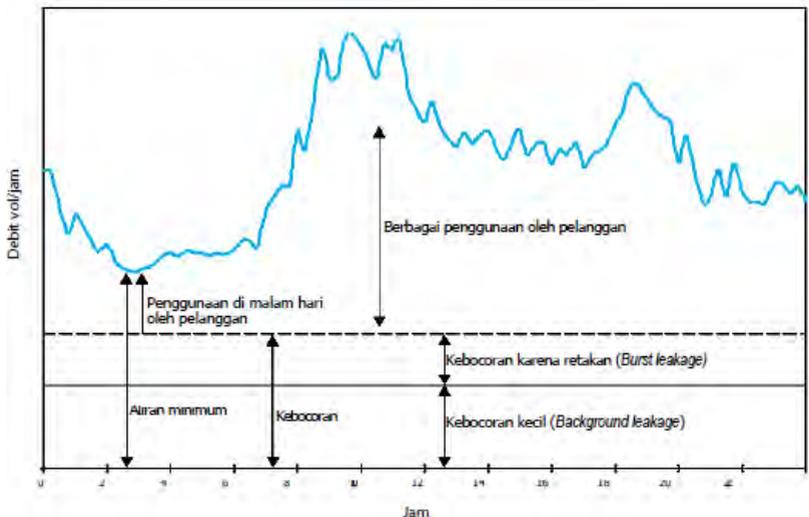
t: waktu rata-rata semburan terjadi



Gambar 2.4 Waktu Bocor dan Volume Kehilangan Air
(Sumber: Faley dkk., 2008)

Pada gambar di atas menunjukkan waktu untuk mengatasi kebocoran dan volume yang hilang akibat kebocoran. Volume yang hilang merupakan luasan persegi panjang berwarna biru. Kebocoran yang dilaporkan biasanya terlihat dan mempunyai debit yang tinggi. Akan tetapi, volume kebocoran yang tertinggi berasal dari kebocoran yang tidak dilaporkan. Terdapat tiga waktu terkait kebocoran. Tiga waktu tersebut adalah kesadaran, lokasi, dan perbaikan.

- Kesadaran adalah waktu yang diperlukan untuk mengetahui/ menyadari terjadinya kebocoran.
- Lokasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengetahui lokasi kebocoran.
- Perbaikan adalah waktu yang diperlukan untuk memperbaiki kebocoran yang terjadi.



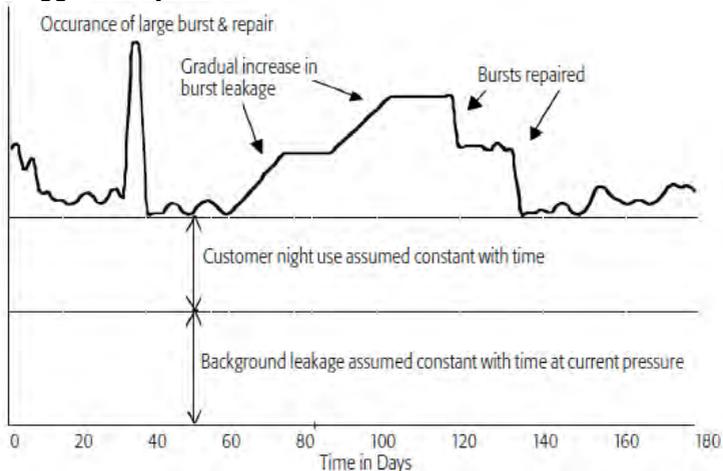
Gambar 2.5 Profil Aliran DMA Selama 24 Jam
(Sumber: Farley dkk., 2008)

Kehilangan-kehilangan fisik di dalam sebuah DMA pada dasarnya adalah kebocoran-kebocoran pipa pada pipa utama dan sambungan pelanggan. Kebocoran terjadi melalui

lubang-lubang atau retakan-retakan di pipa utama atau pada sambungan pipa, yang akan membuat air bocor secara terus menerus selama 24 jam. Sebaliknya, kebocoran-kebocoran dari sambungan pelanggan berfluktuasi sesuai dengan kebutuhan/permintaan pelanggan dalam satu hari.

Perkiraan tingkat kebocoran suatu DMA, dapat diketahui dengan menghitung Aliran Malam Bersih (*Net Night Flow/ NNF*) sistem yang ditentukan dengan mengurangi Aliran Malam Resmi (*Legitimate Night Flow/ LNF*) dari Aliran Malam Minimum (*Minimum Night Flow/ MNF*).

MNF merupakan aliran terendah ke dalam DMA selama jangka waktu 24 jam, yang biasanya terjadi pada waktu malam ketika kebanyakan pelanggan tidak aktif. MNF ini bisa diukur secara langsung dari alat pencatatan data (*data logging*) atau graf aliran. Meskipun kebutuhan pelanggan minimum pada waktu malam, para operator penyedia pasokan air masih harus mempertimbangkan aliran malam resmi dalam jumlah kecil, yaitu kebutuhan pelanggan di waktu malam, seperti menggelontor jamban, mesin cuci, dll.



Gambar 2.6 Minimum Nigt Flow (MNF) Tipikal di Dalam Suatu DMA (Sumber: Morrison, 2004)

Contoh uji coba-uji coba LNF di dalam setiap DMA adalah dengan mengukur konsumsi semua meter non-rumah tangga dan 10% dari semua meter rumah tangga untuk jangka waktu 2 jam antara jam 2:00 dan 4:00 pagi untuk menghitung LNF rata-rata.

2.4.2 Kehilangan Air Komersial

Kehilangan air komersial yang disebabkan oleh meter air dapat meningkat 15-40% ketika tanki air digunakan (karena ada *float valve*) (Criminisi *et al.* 2009). Kehilangan nonfisik/komersial dapat dirinci menjadi empat elemen fundamental, yaitu:

- Ketidakakuratan meter pelanggan
- Konsumsi tak resmi
- Kesalahan pembacaan meter
- Kesalahan penanganan data dan pembukuan

Ketidakakuratan meter pelanggan dapat diatasi dengan memasang meter dengan tepat, memantau kualitas air, memantau layanan air tidak teratur, menentukan ukuran meter dengan tepat, menggunakan kelas dan jenis meter yang tepat, merawat dan mengganti meter dengan tepat, menangani kerusakan meter.

Konsumsi tak resmi dapat dikurangi dengan menemukan dan mengurangi sambungan ilegal, menangani bypass pada meter, mencegah penggunaan hidran kebakaran secara ilegal, memeriksa tagihan pelanggan secara aktif, menghindari pembaca meter yang korup.

Tingkat NRW dalam sebuah DMA dapat dihitung dengan mengurangi konsumsi yang tercatat dari air masuk. NRW terdiri dari kehilangan air fisik dan kehilangan air komersial. Besarnya kehilangan air komersial dapat dihitung menggunakan perhitungan sebagai berikut:

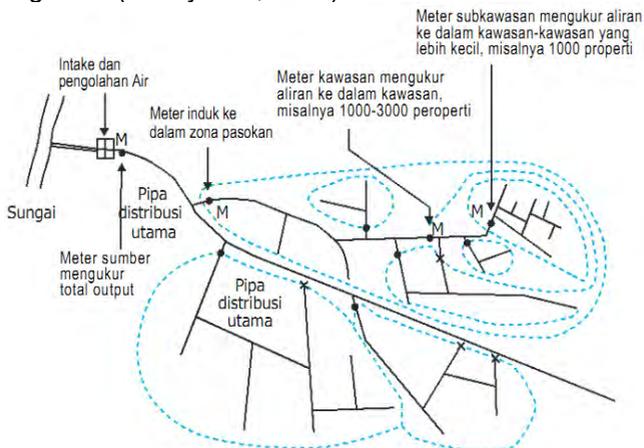
$$\text{Kehilangan nonfisik (komersial)} = \text{NRW} - \text{NNF}$$

Setelah mengidentifikasi DMA-DMA yang mempunyai kehilangan nonfisik yang tinggi, dapat dilakukan penyelidikan

tentang meter yang tidak berfungsi, meter yang ditamper, dan sambungan-sambungan ilegal. Mereka juga melaksanakan serangkaian survei pelanggan terhadap setiap properti di dalam DMA untuk memverifikasi properti dalam basis data penagihan, mewancarai penghuni, dan memeriksa meter air.

2.5 Pengertian DMA (*District Metered Area*)

Desain DMA yang merepresentasikan masalah yang kompleks, biasanya diimplementasikan dengan sukses secara bertahap. DMA-DMA dibentuk dalam wilayah-wilayah jaringan yang dapat dengan mudah diisolasi, misalnya wilayah-wilayah dengan zona pasokan terpisah. Dalam membentuk satu DMA, perusahaan air minum harus membatasi jumlah air masuk, yang juga membantu untuk mengurangi biaya pemasangan meter air. Untuk mewujudkan hal ini, penting untuk menutup satu katup batas persil atau lebih, yang harus tetap tertutup secara permanen untuk memastikan bahwa segala data aliran secara akurat mewakili total air masuk untuk DMA yang bersangkutan (Farley dkk., 2008).



Gambar 2.7 Tata Letak DMA secara Umum
(Sumber: Farley dkk., 2008)

Pembagian pada jaringan distribusi air minum menjadi DMA-DMA (biasa disebut *network segmentation* atau *sectorization*) bukanlah hal yang remeh. Pembagiannya dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan dan kriteria (Galdiero, 2015). Kriteria yang mempengaruhi pembentukan DMA menurut Farley dkk., 2008 antara lain:

- Bentuk DMA (misalnya jumlah sambungan – umumnya antara 1.000 dan 2.500 sambungan), tetapi menurut Hajebi *et al.*, (2014) jumlah sambungan dapat sebanyak 500-3000 sambungan dan menurut Morrison (2007) jumlah sambungan dapat sebanyak 500-5000,
- Jumlah katup yang harus ditutup untuk mengisolasi DMA,
- Jumlah meter air untuk mengukur air masuk dan air keluar (semakin sedikit meter yang diperlukan, semakin kecil biaya pembentukannya),
- Variasi permukaan tanah dan dengan demikian tekanan-tekanan di dalam DMA (semakin datar kewasannya, semakin stabil tekanan yang ada dan semakin mudah untuk membentuk kendali tekanan),
- Ciri-ciri topografis yang mudah terlihat yang bisa menjadi batas-batas untuk DMA, seperti sungai, saluran pembuangan air, jalan kereta api, jalan raya, dsb.

Selain kriteria yang disebutkan di atas, beberapa peneliti lain menyarankan kriteria yang berbeda. Kriteria desain yang berbeda untuk menetapkan ukuran DMA secara umum meliputi tiga hal (Galdiero, 2015); topologi jaringan, anggaran finansial, hidraulika jaringan. Beberapa batasan struktur dan hidraulika dalam membentuk sistem distribusi menjadi DMA-DMA adalah ukuran DMA, perbedaan minimum elevasi tiap node dalam satu DMA, dan kecepatan air dalam pipa (Hajebi *et al.*, 2014).

Salah satu fungsi utama DMA adalah untuk mengurangi kehilangan air fisik hingga level ekonomi dan menjaga agar tingkat kebocoran tidak meningkat. Salah satu cara yang dapat

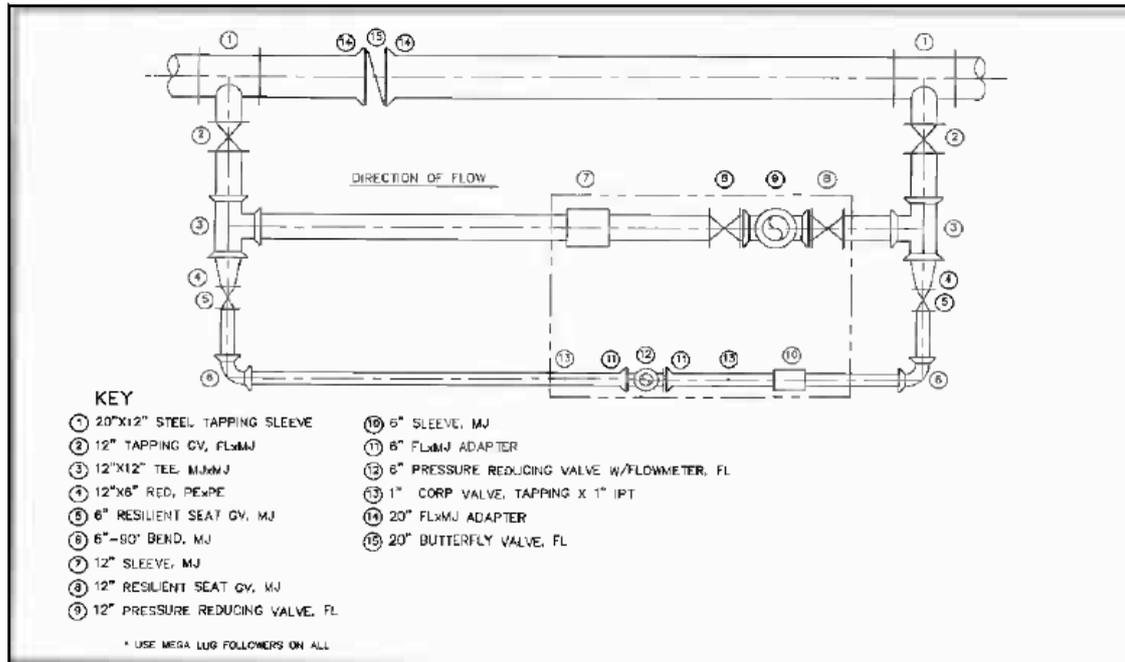
digunakan untuk itu adalah melalui ALC (*Active Leakage Control*). Adapun keuntungan DMA adalah:

1. Area dari sistem jaringan distribusi menjadi lebih kecil sehingga akan lebih mudah untuk dimanajemen
 2. Pengimplementasian dari ALC menjadi lebih mudah dilakukan
 3. Kebocoran dapat diidentifikasi menggunakan pemantauan terhadap MNF
 4. Waktu kebocoran yang terjadi menjadi lebih singkat
- Selain mempunyai keuntungan seperti yang disebutkan di atas, perencanaan dan desain DMA harus dilakukan/direncanakan dengan baik agar tidak menimbulkan kerugian berupa:
1. Kualitas air yang semakin menurun karena adanya “*dead ends*” di dalam jaringan
 2. Adanya kemungkinan keluhan dari konsumen sehubungan dengan tekanan yang menurun

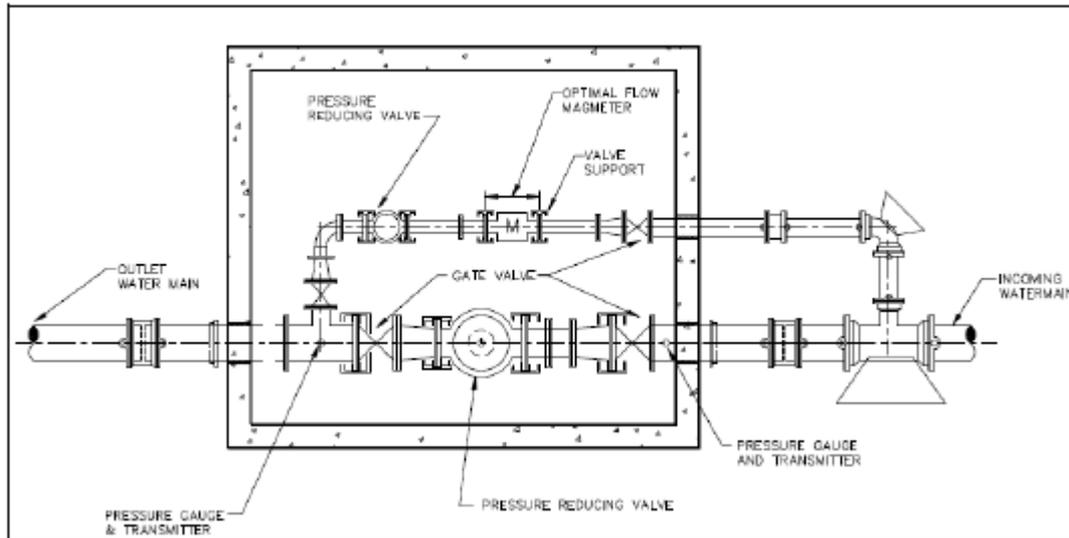
2.6 Perencanaan DMA

Menurut *Water Loss Task Force* (2004) kunci-kunci untuk membentuk DMA adalah:

- Variasi minimum di permukaan tanah di seluruh DMA
- Batas-batas DMA yang jelas
- Daerah pemasangan meter air yang tepat ukuran dan lokasinya
- Satu titik masuk untuk satu DMA
- Batas yang tertutup (terisolasi)
- Pengoptimisasian tekanan
- Derajat kesulitan wilayah sistem distribusi

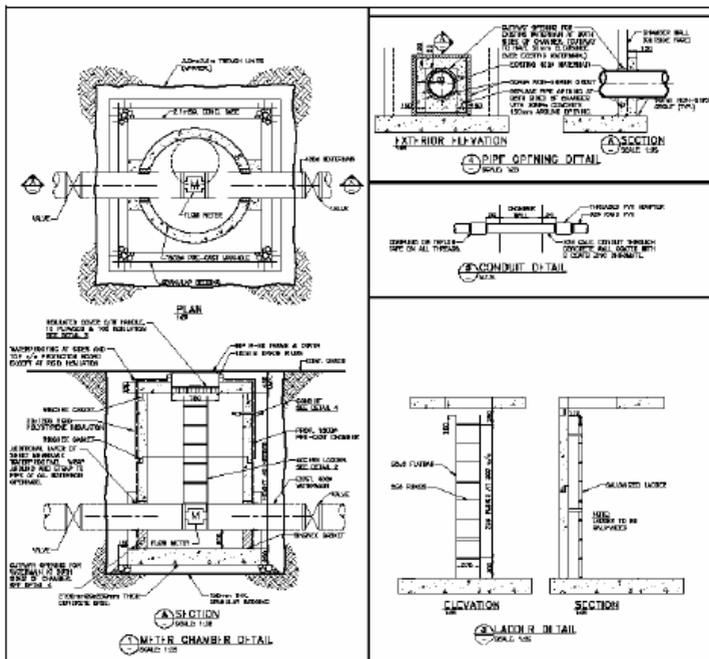


Gambar 2.8 Desain DMA Secara Umum
(Sumber: Fanner *et al.*, 2007)



Gambar 2.9 Desain Halifax Regional Water Commission Meter Chamber
 (Sumber: Fanner *et al.*, 2007)

Gambar 3.5 menggambarkan desain umum dari *meter chamber* dimana meter air dipasang *bypass*. Manajemen tekanan dilakukan menggunakan PRV pada pipa utama dan PRV pada *bypass*. Desain lain dapat dilihat pada gambar 3.6 dimana desainnya lebih sederhana. Gambar 3.7 menunjukkan desain yang diterapkan pada area yang tidak mengelola tekanannya. Sebuah meter air dipasang tepat di inlet DMA yang digunakan untuk memantau debit dan tekanan. Hal ini bisa jadi merupakan solusi ekonomis untuk memasang DMA *flow meter chamber*. Selain itu, pemasangan dengan tipe ini memastikan bahwa kecepatan minimum dapat diukur secara akurat (Fanner et al., 2007).



Gambar 2.10 Desain sederhana DMA meter chamber yang digunakan di HRWC (Sumber: Fanner et al., 2007)

Tabel 2.4 Tabel Persyaratan Standpipe

System	Description
Residual Pressure, Class 1, 2 and 3	65 psi at highest outlet
First Standpipe, Class 1 and 3	500 gpm minimum
First Standpipe, Class 2	100 gpm minimum
Additional Standpipes	250 gpm minimum, 2,500 gpm maximum

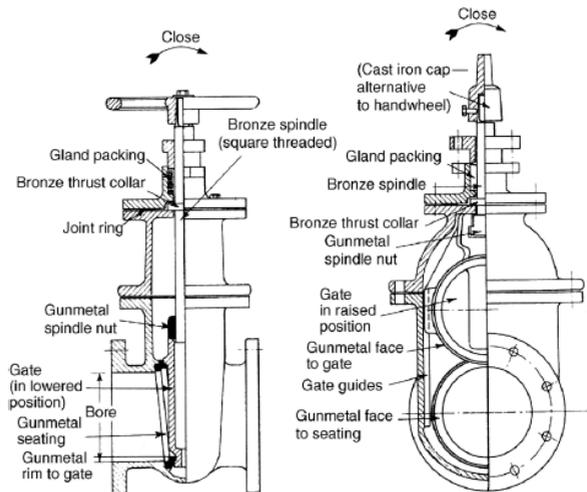
Sumber: Farnel *et al.*, 2007

Keakuratan dari meter DMA adalah salah satu poin penting dari DMA. Informasi meter DMA memuat:

- Ukuran, tahun pembuatan, dan nomor seri dari meter DMA
- Tanggal pemasangan perangkat
- Parameter operasi dan pengaturannya
- Jadwal mengkalibrasi meter dan hasilnya

Tipe *valve* bermacam-macam. *Valve* dapat dibedakan menurut fungsinya menjadi *valve* isolasi, kontrol, *venting*, *non-return* dan regulasi. *Valve* isolasi berfungsi untuk mengisolasi. *Valve* ini memilih untuk tertutup atau terbuka dan tidak akan beroperasi selama air mengalir. *Valve* regulasi dapat diatur derajat membukanya dan dapat diatur secara periodik. *Valve* kontrol digerakkan secara otomatis untuk mengatur kecepatan dan tekanan. *Valve non-return* adalah *valve* yang berfungsi untuk mencegah aliran balik ketika tekanan di jalur pipa setelahnya lebih besar. *Valve venting* berfungsi untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dalam pipa.

Beberapa *valve* yang digunakan untuk mengisolasi *valve* adalah *gate valve* dan *butterfly valve*. *Gate valve* mempunyai ukuran paling besar 2,4 m, berfungsi mengisolasi (DN 600), berfungsi regulasi pada tekanan di ukuran yang kecil, alirannya jelas, ketahanan terhadap kavitasi rendah, headlossnya sangat kecil, berat, dimensinya tinggi, sederhana dan dapat dipercaya. *Butterfly valve* mempunyai ukuran hingga >4 m, berfungsi sebagai isolasi (DN diatas 300), regulasi dan kontrol, aliran air tidak begitu terlihat jelas, ketahanan terhadap kavitasi moderat, headlossnya rendah, dimensinya ringan dan tangguh (Johnson *et al.*, 2009).



Gambar 2.11 Potongan *Gate Valve*
(Sumber: Johnson *et al.*, 2009)

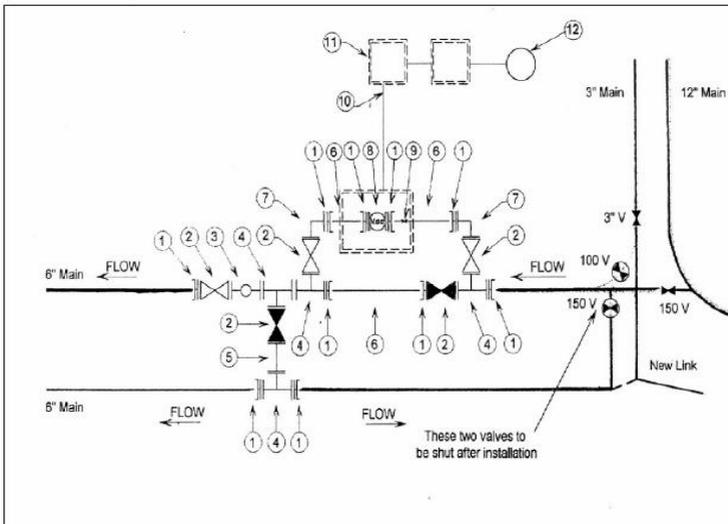
2.7 Pemilihan Meter DMA

Buku *Manual DMA Practice* (1999) menganjurkan ringkasan umum mengenai pemilihan dan pemasangan meter DMA. Sebuah meter air seharusnya dapat mencakup penggunaan di hari maksimum dan penggunaan musiman, yang meliputi:

- *Night flow* DMA
- *Night flow* sub-DMA
- Debit minimum berkenaan dengan step-testing
- Pemilihan ukuran meter air dan tipenya akan bergantung kepada:
- Ukuran pipa
- Rentang debit
- Debit balik yang direncanakan
- Keakuratan dan pengulangan
- Perangkat komunikasi yang direncanakan
- Harga meter air
- Biaya kepemilikan dan pemeliharaan

- Pilihan perusahaan

Rentang debit dan persyaratan keakuratan dari meter air akan bergantung kepada cara penggunaan. Keakuratan juga merupakan hal yang penting jika DMA yang bersangkutan memiliki beberapa meter air, mengukur debit yang masuk dan keluar dari wilayah DMA. Pemasangan meter air pada umumnya membutuhkan pemasangan *valve* pengisolasi di hulu dan hilir dari meter air. Pemilihan tempat untuk memasang meter air harus hati-hati. Pemasangan meter air dapat saja dilakukan di dekat *valve* yang telah ada sehingga dapat menghemat pengeluaran. Di daerah dengan riwayat masalah air yang kotor, bisa saja diperlukan *strainer*. Hal yang berguna saat memasang *tapping* meter air sebelum meter air DMA untuk membuat pengecekan debit menjadi lebih mudah. *Data logger* harus dilindungi dan diletakkan di atas *chamber* (Fanner *et al.*, 2007).



Gambar 2.12 Pemasangan Meter dan *bypass* yang direkomendasikan di UK
(Sumber: Fanner *et al.*, 2007)

Alat-alat dan bahan yang digunakan di atas dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 2.5 Peralatan dan bahan berdasarkan gambar 3.9

No Gambar	Aksesoris	Jumlah
1	<i>150 Flange adapter</i>	10
2	<i>150 SV</i>	4
3	<i>150 x 150 x 80 mm Tee with W/O</i>	1
4	<i>150 x 150 x 150 mm Tee</i>	2
5	<i>150 Ductile Iron Pipe</i>	3
6	<i>150 mm 90 elbow</i>	2
7	<i>150 mm DI - length 0,75 m</i>	1
8	<i>150 mm Meter</i>	1
9	<i>Pressure Tapping</i>	1
10	<i>150 mm DI - lenght 1,5 m</i>	1
11	<i>50 mm Ducting</i>	Sesuai kebutuhan
12	<i>Boxes</i>	2
13	<i>Antenna</i>	1
14	<i>Grade A chamber cover</i>	1

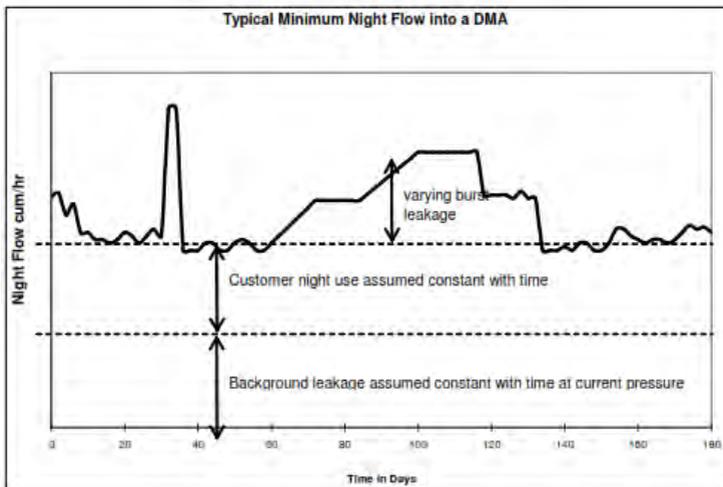
Sumber: Fanner *et al.*, 2007

2.8 Pemantauan DMA

Pengelolaan NRW yang aktif hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan zona-zona, dimana sistem secara keseluruhan terbagi menjadi serangkaian subsistem yang lebih kecil untuk bisa menghitung NRW masing-masing subsistem secara terpisah. Subsistem-subsistem lebih kecil ini, yang seringkali disebut sebagai Kawasan Bermeter (*District Metered Area/ DMA*) harus terisolasi secara hidraulis sehingga volume air yang hilang di dalam DMA dapat dihitung. Ketika satu sistem

pasokan dibagi menjadi kawasan-kawasan yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola, perusahaan bisa menentukan sasaran-sasaran aktivitas-aktivitas pengurangan NRW dengan lebih baik, mengisolasi masalah-masalah kualitas air, dan mengelola tekanan seluruh sistem dengan lebih baik untuk memungkinkan pasokan air 24/7 di seluruh jaringan. DMA-DMA yang sudah terbentuk dapat memudahkan pemantauan sehingga informasi tentang aliran dan tekanan untuk mengelola NRW dapat disajikan dengan lebih baik. DMA juga bermanfaat untuk memperbaiki kualitas air dan pasokan bagi para pelanggan (Farley dkk., 2008).

Penanganan kebocoran air selama ini dilakukan secara pasif. Adanya DMA akan memudahkan pemantauan sistem jaringan distribusi. Prinsip penggunaan DMA sebagai kontrol manajemen kebocoran adalah berdasarkan debit. Kebocoran dapat dideteksi secara lebih akurat saat terjadi konsumsi pelanggan minimum (Morrison *et al.*, 2007).



Gambar 2.13 Variasi Kebocoran Terhadap Waktu
(Sumber: Fanner *et al.*, 2007)

DMA yang ingin dipantau kebocorannya harus dihitung terlebih dahulu Aliran Malam Bersih (*Net Night Flow/NNF*). NNF yang ditentukan dengan mengurangkan Aliran Malam Resmi (*Legitimate Night Flow/LNF*) dari Aliran Malam Minimum (*Minimum Night Flow/MNF*).

Pemantauan DMA dilakukan sebagai upaya untuk memantau Sebagai tambahan untuk peta DMA yang detail, sangatlah berguna untuk tim pemantauan kebocoran memiliki peta yang menunjukkan lokasi dari DMA masing-masing. Peta yang selalu diperbaharui untuk menjaga rekam jejak. Peta tersebut harus meliputi lokasi terdeteksi dan kebocoran yang diperbaiki. Laporan perbaikan kebocoran sangatlah penting untuk pengambilan keputusan mengenai manajemen kebocoran di masa yang akan datang. Sangatlah penting bahwa semua laporan yang ada dibedakan antara kebocoran yang dilaporkan dan tidak dilaporkan. Laporan meliputi:

- Waktu dan tanggal kebocoran dilaporkan, dan diperbaiki,
- Lokasi kebocoran,
- Tipe dan penyebab kebocoran,
- Penanganan kebocoran yang dilakukan,
- Jenis dan ukuran pipa.

Integritas dari DMA sangatlah penting sebagai upaya manajemen DMA. Meskipun batas-batas DMA adalah permanen selama DMA tersebut ada, namun *valve* tentu saja harus dapat dibuka untuk sementara saat diperlukan tindakan pemeliharaan sistem distribusi. Jika *valve* sedang dioperasikan, penting untuk memastikan bahwa *valve* ditutup setelahnya. Selain itu perlu dilaporkan mengenai lamanya durasi *valve* dibuka. Hal ini memberitahukan tim kebocoran bahwa saat *valve* dibuka aliran yang keluar bukanlah kebocoran. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan adalah:

- *Valve* batas DMA sebaiknya mempunyai kotak penutup *valve* identitas yang berwarna dan mudah dikenali oleh seluruh staf yang terlibat,

- Semua staf lapangan diberi informasi mengenai lokasi *valve* batas DMA, dan merupakan hal penting untuk menjaga *valve* ini tertutup,
- *Valve* batas DMA sebaiknya hanya dioperasikan (dibuka) saat ia benar-benar diperlukan,
- Status dari *valve* batas sebaiknya dicek secara berkala.

Setiap DMA yang telah terbentuk harus mempunyai Buku Manual DMA yang mencakup satu skema jaringan pipa, gambar lokasi-lokasi meter air, katup-katup pengendali tekanan, dan katup-katup batas persil, dan satu salinan database tagihan untuk DMA bersangkutan. Manual ini merupakan satu dokumen kerja dan data operasional harus terus diperbaharui, termasuk informasi-informasi tentang berikut ini:

- Grafis aliran dan tekanan
- Data kebocoran step test
- Lokasi-lokasi kebocoran
- Lokasi-lokasi sambungan ilegal
- Data uji aliran malam sah (*legitimate night flow/LNF*)
- Data tekanan faktor T

DMA yang sudah terbentuk akan dapat dicatat air yang dikeluarkan/ melalui meter air tersebut. Setiap DMA akan menyalurkan air menuju rumah-rumah. Masing-masing sambungan rumah tersebut juga mempunyai meter air yang dikonsumsi. Sehingga, selisih antara air yang dicatat oleh meter DMA dan meter-meter masing-masing sambungan rumah adalah besarnya kebocoran.

$DMA\ NRW = Total\ Air\ masuk\ DMA - Total\ Konsumsi\ DMA$

DMA NRW adalah *non revenue water* untuk DMA tersebut. Total air masuk DMA adalah total air yang tercatat di meter air DMA. Total konsumsi DMA adalah total air yang tercatat oleh meter masing-masing pelanggan atau sambungan

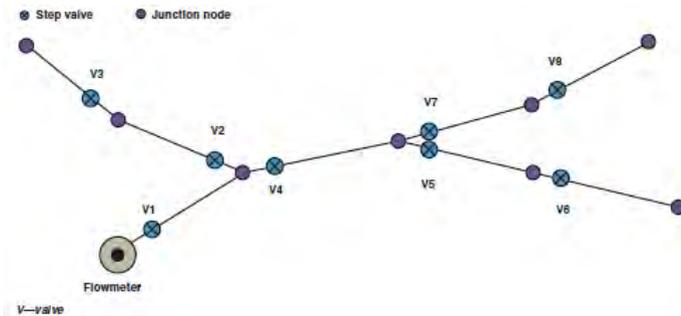
rumah yang ada di dalam DMA tersebut. Dalam kata lain Debit DMA sama dengan Jumlah Debit SR atau pelanggan ditambahkan *non revenue water*.

DMA yang memiliki kebocoran terbesar adalah DMA yang diprioritaskan untuk diperbaiki kebocorannya. Jika DMA sudah terbentuk dan ingin diketahui letak kebocoran yang terjadi dalam DMA tersebut. Maka dapat dilakukan penelusuran lapangan menggunakan metode *flow step-testing*. Metode *flow step-testing* dapat dirangkum sebagai berikut (Boulos dan Aboujaoude, 2011):

1. Lakukan *flow step-testing* saat pemakaian air minimum,
2. Tentukan daerah yang diperkirakan mempunyai kebocoran yang besar,
3. Tutup semua *valve* batas untuk membuat area kedap,
4. Pasang *data logger* pada *flowmeter*,
5. Mulai dari pipa dan/ atau *valve* terjauh dari *flowmeter*,
6. Tutup *valve* secara berurutan sehingga area step area akan semakin sedikit disuplai air dari flow meter, catat debitnya,
7. Tutup rangkaian *valve* hingga meter membaca bahwa debitnya adalah 0,
8. Tunggu hingga meter benar-benar bekerja (*valve* tetap tertutup),
9. Buka *valve* secara berurutan dengan arah/ urutan yang berkebalikan.

Sebagai ilustrasi, maka urutan yang mungkin untuk menutup *valve* adalah sebagai berikut:

- V8, V7, V6, V5, V4, V3, V2, V1
- V8, V7, V3, V2, V6, V5, V4, V1
- V8, V7, V6, V5, V3, V2, V4, V1
- V3, V2, V8, V7, V6, V5, V4, V1
- V3, V2, V6, V5, V8, V7, V4, V1
- V6, V5, V8, V7, V4, V3, V2, V1
- V6, V5, V8, V7, V3, V2, V4, V1
- V6, V5, V3, V2, V8, V7, V4, V1

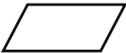
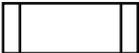
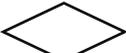


Gambar 2.14 Contoh *valve* dalam sistem distribusi
(Sumber: Boulos dan Aboujaoude, 2011)

2.9 Simbol-simbol yang Digunakan Dalam Flowchart

Flowchart adalah gambaran hasil analisis suatu masalah. Terdapat tiga hal utama, yakni; input, proses, output diawali oleh “start” dan diakhiri oleh “end”. Namun, flowchart dari setiap permasalahan dapat saja berbeda.

Simbol	Nama	Fungsi
	Terminator	Pemulaan/ akhir program
	Garis alir	Arah aliran program

	Proses	Proses perhitungan/ pengolahan data
	Input/ output	Proses input/ output data, parameter, informasi
	Predefined process (subprogram)	Permulaan sub program/ proses menjalankan sub program
	Decision	Pemilihan

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE STUDI

3.1 Umum

Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan kerangka yang bermaksud untuk mempermudah proses pengerjaan. Studi literatur ini akan menggambarkan perkembangan pengetahuan sekarang dalam merencanakan DMA secara lebih baik.

3.2 Kerangka Studi

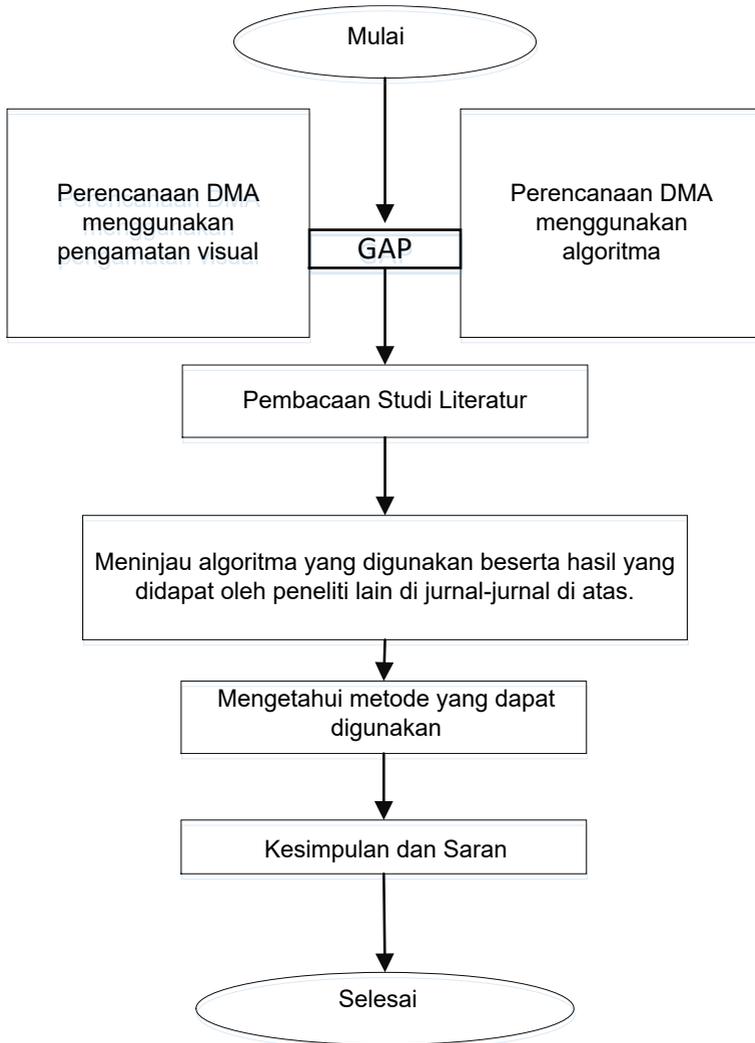
Diawali dengan adanya kebocoran yang nilainya sangat tinggi. Terlebih kebocoran fisik. Hal ini tentu menimbulkan adanya keingintahuan langkah apa yang dapat dilakukan untuk memperkecil kebocoran fisik ini. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan metode apakah yang dapat digunakan untuk merencanakan DMA.

3.3 Ide Studi

Pembentukan DMA telah dilakukan di beberapa negara maju seperti Jerman, Inggris, dan Wales. dengan karakteristik jaringan distribusi yang berbeda-beda. Hal ini membuktikan bahwa pembentukan DMA telah dilakukan semenjak lama. Selain itu pembentukan DMA memang telah dianjurkan oleh *IWA Water Loss Task Force*.

Perencanaan DMA yang dianjurkan oleh *IWA Water Loss Task Force* baru sebatas penetapan jumlah koneksi per DMA. Hal ini dirasa mudah diaplikasikan untuk jaringan yang tidak begitu besar dan tidak begitu rumit. Namun, jaringan distribusi air yang semakin berkembang tidak cukup hanya mengandalkan metode ini.

Baru-baru ini telah dilakukan penelitian pembagian sistem jaringan distribusi air menggunakan algoritma-algoritma. Hal ini dilakukan karena sistem jaringan air dipandang sebagai sesuatu yang kompleks.



Gambar 3.1 Kerangka Penyusunan Tugas Akhir

3.4 Tujuan

Perencanaan DMA bertujuan untuk memudahkan manajemen jaringan distribusi air dan pemantauannya. Namun, disisi lain perlu juga diketahui cara membentuk DMA yang baik. Simulasi hasil dari perencanaan DMA melalui perangkat lunak tentu sangat menguntungkan. Hal ini berarti mengetahui sesuatu sebelum sesuatu itu terjadi.

3.5 Hasil dan Pembahasan

Kajian pustaka dilakukan terhadap semua jurnal dan publikasi yang berhubungan dengan sistem jaringan distribusi secara umum, kebocoran, dan DMA (meliputi *sectorization*, *partitioning*, dan *clustering*). Selain itu, untuk menambah pemahaman penulis dan pembaca, dilakukan juga kajian pustaka terhadap algoritma-algoritma yang digunakan dalam jurnal-jurnal yang dikaji oleh peneliti-peneliti. Hal ini mengingat bahwa algoritma dan metode-metode lain yang digunakan di jurnal, belum pernah disinggung sedikitpun di kuliah-kuliah yang ada di Teknik Lingkungan ITS.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang didapatkan dari studi literatur ini adalah mengetahui algoritma-algoritma yang dapat digunakan untuk merencanakan DMA. Selain itu juga disimpulkan hal-hal yang terdampak dari adanya perencanaan DMA. Sehingga, untuk penelitian selanjutnya dapat disarankan topik-topik yang dapat dijadikan sebagai kajian penelitian.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 PERENCANAAN DMA

DMA adalah suatu area yang ada di dalam sistem jaringan distribusi air minum. Di dalam suatu DMA setidaknya terdapat satu meter air dan terisolasi dengan DMA-DMA yang lain. DMA merupakan bagian yang menyusun sistem jaringan distribusi air minum. Kumpulan dari sambungan-sambungan rumah akan membentuk DMA. Kumpulan dari DMA-DMA akan membentuk sistem jaringan distribusi air minum.

Pemantauan aktif kebocoran dalam suatu DMA akan lebih mudah jika DMA tersebut mempunyai jangkauan yang tidak terlalu besar. Oleh karena itu, salah satu dasar dalam pembentukan DMA adalah jumlah sambungan rumah. Di sisi lain, alasan ekonomis juga menjadi pertimbangan dalam menyusun DMA (anggota-anggota DMA). Alasan ekonomis tersebut diwakili oleh jumlah *valve*, jumlah pipa yang dipotong, dan jumlah meter air yang dipasang. Terdapat juga alasan lain, yakni alasan kemudahan pemantauan kebocoran dalam wilayah DMA. Atas dasar alasan ini, maka batasan-batasan topografis (seperti sungai) yang mudah terlihat dan menyebabkan biaya yang lebih murah dalam merencanakan DMA dapat dipilih.

Pembentukan DMA di dalam tipe/ macam jaringan distribusi air minum yang mempunyai kebanyakan jaringan bercabang (cabang) tentu relatif lebih mudah dibandingkan dengan tipe *loop*. Oleh karena itu, di dalam BAB ini selain akan dikemukakan cara membentuk DMA secara umum, juga diterangkan tentang pembentukan/ penyusunan DMA di jaringan *loop* menggunakan algoritma-algoritma tertentu.

4.1 Tahapan Perencanaan DMA

Pedoman yang disediakan oleh IWA (*International Water Association*) dalam merencanakan DMA diantaranya adalah ukuran (atau jumlah sambungan), jumlah katup yang harus ditutup, jumlah meter air, variasi tingkat permukaan tanah, dan

ciri-ciri topografi yang nampak yang dapat menjadi batas-batas DMA. Pedoman ini menyerahkan seluruh keputusan kepada pihak perencana pembuat DMA. Keputusan yang dimaksud disini adalah cakupan daerah-daerah mana sajakah yang tergabung dalam satu DMA dan daerah-daerah mana sajakah yang tergabung dalam DMA-DMA lainnya.

Pedoman dari IWA ini tidak menyediakan aturan/ tata cara mengenai bagaimana untuk memilih sambungan-sambungan rumah/ daerah-daerah/ area-area yang mana sajakah yang merupakan anggota dari masing-masing DMA. Sehingga, para akademisi dan praktisi di negara-negara maju seperti Inggris, Korea, dan Italia melakukan penelitian mengenai cara memilih sambungan-sambungan rumah/ daerah-daerah/ area-area tersebut melalui algoritma. Pemilihan sambungan-sambungan rumah/ daerah-daerah/ area-area yang tergabung dalam DMA-DMA dicari berdasarkan jarak terdekat dan kemiripan antara satu node dengan node lainnya. Penelitian pembentukan DMA dilakukan dengan adanya batasan bahwa kelompok sambungan-sambungan rumah/ daerah-daerah/ area-area DMA yang membutuhkan biaya minimal yang akan dipilih. Biaya disini akan diwakilkan dengan jumlah valve dan jumlah meter air yang diperlukan dalam membentuk DMA tersebut. Dipertimbangkannya biaya dalam perencanaan DMA dapat digunakan menggunakan langkah/ algoritma optimasi.

Pembentukan DMA akan mengubah jaringan sistem distribusi air minum, meskipun tidak secara keseluruhan. Pola aliran air dalam jaringan distribusi air minum menjadi berubah dikarenakan adanya valve-valve, pipa-pipa yang diputus, dan meter-meter air.

Langkah-langkah dalam membentuk DMA pada prinsipnya adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peta jaringan distribusi air minum,
2. Menetapkan kriteria perencanaan/ kriteria desain sambungan rumah dalam DMA,
3. Membentuk DMA sesuai dengan rentang yang telah ditetapkan di langkah-2,

4. Menutup/ membuat valve-valve batas antara satu DMA dengan DMA yang lain,
5. Melakukan pemasangan meter air di titik yang dikehendaki,
6. Mengevaluasi DMA menggunakan salah satu dari indikator *resilience index*, *tekanan*, *flow deficit index*, dan *water age*,
7. Mengitung volume pekerjaan dan biaya (rencana anggaran biaya/ RAB),
8. Memastikan bahwa aliran valve sudah ditutup dan DMA yang ada sudah terisolasi dengan melakukan uji isolasi (jika langkah 5 tidak terpenuhi, maka harus kembali ke langkah 4),

Langkah uji isolasi pada langkah-4 dan langkah-5 berfungsi untuk memastikan bahwa semua pipa ke dalam dan keluar DMA ditutup atau bermeter. Adapun langkah uji isolasi adalah sebagai berikut:

1. Menutup semua saluran masuk air (inlet) bermeter
2. Memeriksa apakah tekanan air di dalam DMA turun menjadi nol karena air semestinya tidak bisa lagi memasuki wilayah

Jika tekanan tidak turun menjadi nol, ada kemungkinan bahwa ada pipa lain yang memungkinkan air untuk masuk ke kawasan dan oleh karenanya harus diatasi. Setelah DMA selesai dibentuk dan terisolasi, maka DMA dapat dipantau kehilangan air fisik dan non fisiknya.

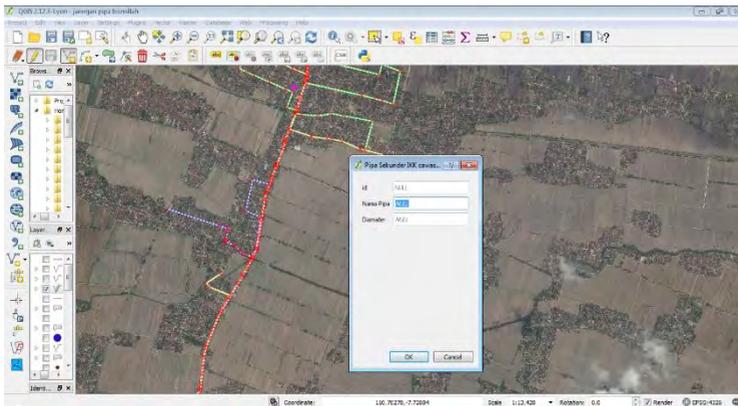
4.1.1 Menyiapkan Peta Jaringan Distribusi Air Minum

Jaringan distribusi air minum suatu kota biasanya disimpan dalam bentuk GIS. *Geographic Information Systems* (GIS) dapat digunakan sebagai representasi dan alat penilaian sistem jaringan distribusi air minum. GIS dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi, pengambilan keputusan dan alat komunikasi dengan mengintegrasikan informasi yang ada.

Geographic Information Systems (GIS) adalah seperangkat alat komputer yang berfungsi untuk menganalisis,

menyimpan data, memanipulasi dan menggambarkan informasi geografis di dalam peta (Anonim, 2016). Hal-hal yang perlu dimasukkan dalam data GIS jaringan distribusi air minum meliputi:

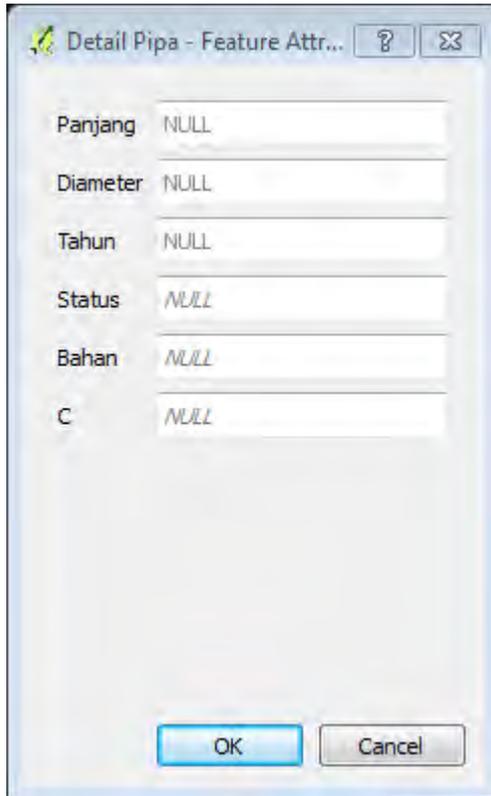
- *Public water supply well/ reservoir*
- *Water distribution tanks/ tank*
- *Water use zones/ daerah pelayanan*
- *Water mains/ pipa utama*
- *Water service pipes/ pipa sekunder dan tersier*
- *Service connections/ pipa sambungan rumah*
- *Gate valves or other valves/ valve-valve*
- *Fire hydrants/ pemadam kebakaran*
- *Various fittings/ aksesoris*



Gambar 4.1 Tampilan GIS

GIS dapat berkorespondensi dengan banyak hal, diantaranya *hydraulic network model*, *land base*, *failure database*, dan *network register*. Data yang sudah dimasukkan di GIS akan dapat digunakan untuk manajemen sistem jaringan distribusi air minum (Fallis *et al.*, 2011). Setelah diketahui dan didapatkan peta jaringan distribusi air minum. Jaringan tersebut dimasukkan/ digambar di EPANET. Hal ini

dikarenakan perangkat lunak GIS tidak dapat digunakan untuk menganalisis performa hidraulika suatu jaringan.



Field Name	Value
Panjang	NULL
Diameter	NULL
Tahun	NULL
Status	NULL
Bahan	NULL
C	NULL

Gambar 4.2 Informasi Pipa

Jenis-jenis data yang dibutuhkan dan dimiliki oleh masing-masing sistem jaringan distribusi air minum dapat berbeda. Contoh informasi yang dimiliki oleh suatu pipa dapat berupa panjang, diameter, tahun, status (diperbaiki, akan diperbaiki, atau status lain yang perlu diketahui), bahan pipa, dan koefisien kekasaran pipa. Pembentukan DMA dapat menggunakan batasan jumlah sambungan rumah dan

pengamatan visual atau menggunakan pemodelan akan dijalankan di perangkat lunak lain. Perangkat lunak yang digunakan akan dapat membagi sistem jaringan distribusi air minum menjadi DMA-DMA jika data jaringan distribusi air minum berupa file input (.inp).

4.1.2 Menetapkan Rentang Jumlah Sambungan Rumah Dalam Satu DMA

Jumlah sambungan rumah dalam satu DMA biasanya akan berbeda-beda di setiap sistem jaringan distribusi air minum. Hal ini bergantung kebijakan yang ditetapkan oleh lembaga atau perusahaan tersebut, melihat kondisi dan batasan fisik geografis. Sedangkan, penetapan DMA dengan menggunakan pendekatan lainnya sedang diteliti. Beberapa peneliti menetapkan rentang jumlah sambungan rumah, sedangkan peneliti lain tidak menetapkan sambungan rumah. Peneliti yang tidak menetapkan sambungan rumah akan melihat gambaran umum sistem jaringan distribusi air minum yang bersangkutan. Sistem jaringan distribusi air minum dapat digambarkan sebagai sebuah kelompok/ komunitas yang mempunyai kecenderungan untuk berkembang sesuai dengan pendekatan sosial. DMA mengandung beberapa sambungan rumah, beberapa kriteria yang dapat digunakan untuk tiap 1 DMA adalah:

- 1.000 dan 2.500 sambungan rumah (Farley dkk., 2008),
- 500-3000 sambungan rumah (Hajebi *et al.*, 2014)
- 500-5000 sambungan rumah (Morrison, 2007)

4.1.3 Membentuk DMA sesuai dengan rentang yang telah ditetapkan

Setelah rentang DMA ditetapkan, maka langkah selanjutnya adalah membentuk DMA sesuai dengan rentang yang ditetapkan. Demi mempermudah dan mempercepat implementasi pembentukan DMA, perencana DMA membentuk DMA berdasarkan kondisi fisik geografis yang ada. Namun,

beberapa peneliti telah meneliti cara membentuk DMA dengan pengelompokan-pengelompokan menggunakan algoritma.

Pembentukan DMA, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya (menurut panduan AWWA) tidak menentukan bagaimana cara memilih area-area yang akan tergabung dalam satu kelompok. Hal tersebut dikarenakan karena implementasi pembentukan DMA akan lebih lama jika harus menunggu pemodelan pemilihan area. Akan tetapi di sisi lain, peneliti dan praktisi sedang mencari tahu cara memilih area tersebut menggunakan algoritma. Meskipun belum dapat diputuskan algoritma yang terbaik yang dapat membentuk DMA, studi literatur mengenai ini akan memperluas pengetahuan untuk gerbang ilmu pembentukan DMA di masa yang akan datang.

Jika dapat dikategorisasikan, maka pemilihan area untuk masing-masing DMA dapat dibagi menjadi dua. Pemilihan tersebut adalah pemilihan konvensional dan pemilihan modern. Persamaan dari kedua penentuan area tersebut salah satunya adalah berupa rentang jumlah sambungan rumah yang ada dalam satu DMA. Sedangkan perbedaannya adalah cara memilih area yang akan tergabung dalam satu DMA dan area yang berada di DMA yang lain. Pada pemilihan konvensional, perencana DMA akan memilih area manakah yang termasuk dalam satu DMA secara manual, kemudian mengetes apakah tekanan dititik yang terjauh yang ada dalam satu DMA tersebut memenuhi tekanan minimal. Hal ini tentu dapat diminimalisir sebelumnya menggunakan simulasi di pemodelan hidraulika tertutup, seperti EPANET.

Pemilihan modern akan menyajikan hasil yang lebih optimal dalam pemilihan untuk area DMA. Pemilihan secara modern menyajikan hasil yang lebih pasti dan baik, terlebih untuk daerah yang tidak mempunyai hambatan topografi. Akan tetapi jika ada hambatan topografi, hal tersebut juga dapat diatur menggunakan pemilihan metode yang digunakan untuk pembentukan area dalam DMA.

Beberapa penelitian yang telah digunakan untuk membentuk DMA menggunakan metode/ algoritma *graph clustering, spectral clustering, community detection, multi agent*

system, breadth first search, depth first search, multi level partitioning, multi level recursive bisection, genetic algorithm.

Setiap penulis tidak hanya mempunyai algoritma yang berbeda-beda, namun juga mempunyai tahapan dan aturan-aturan dalam pemilihan area pembentukan DMA yang berbeda pula. Secara umum dapat diketahui bahwa langkah-langkah dalam pemilihan area pembentukan DMA meliputi:

1. Mengetahui/ memastikan bahwa kondisi hidrolika sistem jaringan distribusi sudah baik; kecepatan, tekanan minimal, dan *headloss*nya sudah sesuai standar,
2. Memisahkan pipa primer dari proses awal pengklusterisasian sistem jaringan distribusi,
3. Menentukan/ tidak menentukan batasan ukuran jumlah sambungan rumah/ koneksi pelanggan yang ada dalam tiap DMA,
4. Menentukan metode algoritma yang dipilih untuk pengklusterisasian beserta bobotnya,
5. Menentukan/ tidak menentukan fungsi objektif yang ingin dimasukkan,
6. Menjalankan simulasi, dimulai dari mengubah format epanet ke algoritma yang dipilih kemudian menjalankan file yang telah diubah di program yang dapat menjalankan algoritma yang dipilih,
7. Mengevaluasi sistem jaringan distribusi setelah DMA terbentuk menggunakan *index*.

Penelitian-penelitian mengenai pemilihan area pembentukan DMA disajikan pada Tabel 4.1. Tabel ini disusun secara berurut dari tahun ke tahun.

Tabel 4.1 Algoritma yang Digunakan dalam Pemilihan Area dalam Membentuk DMA

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
1	Deuerlin, 2008	<i>Decomposition Model of a General Water Supply Network Graph</i>	Konsep analisis menggunakan teori graf dengan mempertimbangkan properti yang saling berhubungan dapat membantu dalam menganalisis sistem jaringan distribusi air	-
2	Izquierdo et al., 2011	<i>Division of Water Supply Systems into DMA using a Multi-Agent Based Approach</i>	Perencanaan DMA menggunakan <i>multi agent system</i> dengan mempertimbangkan energi di node terjauh dari sumber air/ <i>source node</i> tiap DMA	<i>Multi Agent System</i>
3	Herrera, 2011	<i>Improving water network management by efficient division into supply clusters</i>	Penggunaan <i>multi agent system</i> dapat menggambarkan kelompok-kelompok hidraulik sistem jaringan distribusi air berdasarkan tekanan	<i>Multi agent system</i>
4	Diao et al., 2013	<i>Automated DMAs Creation Boundaries in Water Distribution System</i>	Penentuan batas DMA dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kerapatan dari jumlah pengguna	<i>Community Structure</i>

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
5	Hajebi <i>et al.</i> , 2013	<i>Multi agent simulation to support water distribution network partitioning</i>	Penyusunan DMA dapat didasarkan atas pengelompokkan elevasi	<i>K-means algorithm, Multi Agent System</i>
6	Alvisi dan Franchini, 2014	<i>A procedure for the design of district metered areas in water distribution systems</i>	Pembuatan DMA berdasarkan indeks sistem performa (<i>resilience index</i> , tekanan minimal dan rata-rata) lebih baik dibanding berdasar jam puncak dan kebutuhan pemadam kebakaran.	<i>Breadth First Search</i>
7	Campbell <i>et al.</i> , 2014	<i>Label Propagation Algorithm Based Methodology for water supply network sectorization</i>	Perencanaan DMA dapat menggunakan <i>label propagation</i>	<i>Label Propagation</i>
8	Campbell <i>et al.</i> , 2014	<i>Water Supply Network Sectorization Based on social network community detection algorithms</i>	Penggunaan <i>social network theory</i> terhadap sektorisasi sistem distribusi jaringan air mempertimbangkan jaringan pipa utama	<i>Social Network</i>
9	De Paola <i>et al.</i> , 2014	<i>Automatic Multi-objective Sectorization of a Water Distribution Network</i>	Pembentukan DMA paling baik berdasarkan jumlah pelanggan, elevasi node, rentang jumlah pelanggan tiap DMA	<i>NSGA II (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm)</i>

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
10	De Paola et al., 2014	<i>Optimal design of district metered areas in water distribution networks</i>	Perencanaan DMA dapat menggunakan teori graf dan <i>cluster analysis</i> dengan mempertimbangkan debit dan tekanan setiap node, kemudian dirumuskan fungsi optimisasinya	<i>K-means algorithm</i>
11	Di Nardo et al., 2014	<i>Water network sectorization based on graph theory and energy performance indices</i>	Pembentukan DMA menggunakan DFS dapat meningkatkan PI Jaringan Distribusi	<i>Depth First Search</i>
12	Di Nardo et al., 2014	<i>Ant algorithm for smart water network partitioning</i>	Penggunaan multilevel algoritma yang menggabungkan <i>DFS (Depth First Search)</i> , <i>Ant</i> , dan <i>Genetic Algorithm</i> dapat diaplikasikan di jaringan distribusi air yang besar untuk mendapatkan zonasi yang optimal	<i>Depth First Search, Ant Algorithm</i>
13	Ferrari et al., 2014	<i>A graph theoretic approach and sound engineering principal for design of DMA</i>	Pembentukan DMA mempertimbangkan jumlah pengguna, jumlah air yang digunakan, independensi tiap DMA, dan tekanan minimal yang dibutuhkan	<i>Breadth First Search</i>

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
14	Giustolisi dan Ridolfi, 2014	<i>Modularity Index For The Segmentation Of Water Distribution Networks</i>	Penggunaan <i>Modularity Index</i> dan <i>Multi Objective</i> dapat mensegmentasi sistem jaringan air menjadi lebih baik disertai pertimbangan pareto	<i>Modularity</i>
15	Gomes et al., 2014	<i>Influence of future water demand patterns on the district metered area areas design and benefits yielded by pressure management</i>	Perencanaan DMA sebaiknya mempertimbangkan beberapa skenario pola konsumsi air (mengurangi kebocoran air dengan manajemen tekanan)	<i>Simulated Annealing Algorithm</i>
16	Hajebi et al., 2014	<i>Water Distribution Network Sectorisation Using Structural Graph Partitioning and Multi objective Optimization</i>	Penyusunan DMA dapat mempertimbangkan batasan hidraulik dan struktural, seperti ukuran DMA, perbedaan minimal node-node antar DMA, dan kecepatan pipa	<i>Graph Partitioning; Multiobjective Optimization; NSGA-II.</i>
17	Kirstein et al., 2014	<i>Simplification of Water Distribution Network Simulation by Topological Clustering – Investigation of its Potential Use in Copenhagen's Water Supply Monitoring and Contamination Contingency Plans</i>	Klasterisasi sistem jaringan distribusi akan lebih baik jika mempertimbangkan pola konsumsi dalam jangka waktu tertentu	<i>Breadth First Search, Depth First search</i>

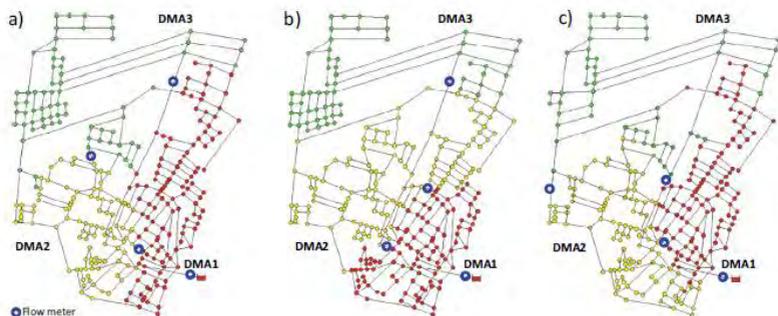
No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
18	Savic dan Ferrari, 2014	<i>Design and performance of district metering areas in water distribution system</i>	Penggunaan teori graf untuk membagi sistem distribusi jaringan air dikaitkan dengan <i>performance indices</i> jaringan air menunjukkan pembentukan DMA yang baik	<i>Breadth first search</i>
19	Scibetta et al., 2014	<i>Community detection as a tool for district metered areas identification</i>	Pembentukan DMA dapat dilakukan menggunakan <i>community detection</i> dengan mempertimbangkan debit dari tiap node	<i>Fast-Greeding Algorithm</i>
20	Perelman et al., 2014	<i>Multi-level automated sub-zoning of water distribution systems</i>	<i>Community structure</i> dan <i>graph partitioning</i> lebih fleksibel dalam membagi sistem jaringan distribusi air menjadi DMA-DMA	<i>Graph Clustering, Community Structure, Graph Partitioning, Greedy Algorithm</i>
21	Alvisi, 2015	<i>A New Procedure for Optimal Design of District Metered Areas Based on the Multilevel Balancing and Refinement Algorithm</i>	Pembagian node-node menjadi distrik dan penentuan posisi meter air	<i>Multilevel Balancing And Refinement</i>

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
22	Alvisi dan Franchini, 2015	<i>A linearization approach for improving the computational efficiency of water distribution system ranking-based optimization algorithms</i>	Peletakkan meter air dapat diputuskan melalui simululasi linear hidraulik	<i>Linearization, Optimization, Global Gradient</i>
23	Creaco dan Franchini, 2015	<i>The identification of loops in water distribution networks</i>	Identifikasi loop di jaringan sistem distribusi air akan memudahkan untuk analisis-analisis selanjutnya	<i>Automatic</i>
24	Di Nardo et al., 2015	<i>Water distribution system clustering and partitioning based on social network algorithms</i>	Penggunaan <i>EBC (Edge Betweenness Community)</i> atau <i>MA (Multi Agent) + GA (Genetic Algorithm)</i> dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk meletakkan gate valve dan <i>flow</i> meter yang optimal	<i>Multi Level Recursive Bisection, Multi Agent, Edge Betweenness Community, Fast Greedy Community</i>
25	Gheisi et al., 2015	<i>Flexibility Ranking of Water Distribution System Designs Under Future Mechanical and Hydraulic Uncertainty</i>	Penggunaan <i>network resilience index</i> dapat digunakan untuk mengukur kestabilan hidraulika jaringan distribusi air	-

No	Penulis, Tahun	Judul	Isi	Algoritma yang digunakan
26	Gomes <i>et al.</i> , 2015	<i>Different design criteria for district metered areas in water</i>	Penyusunan DMA harus memperhatikan karakteristik hidraulik, karakteristik fisik, atau <i>performance indicator</i>	<i>Floyd-Warshall Algorithm dan Simulated Annealing</i>
27	Sophocleous <i>et al.</i> , 2015	<i>Advances in water mains network modelling for improved operations</i>	Pemodelan terhadap pipa utama berkaitan dengan <i>Night Fire Flow Field Test</i> juga dapat dijadikan alat untuk mendeteksi kebocoran	<i>Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm</i>
28	Galdiero, 2015	<i>Multi-Objective Design of District Metered Area in Water Distribution Networks</i>	Penggunaan <i>evolutionary algorithm</i> dan teori grafik dapat digunakan untuk merencanakan DMA dengan mempertimbangkan debit tiap node	<i>Multi-Objective Evolutionary Algorithm (Moea)</i>
29	Herrera <i>et al.</i> , 2016	<i>A Graph-Theoretic Framework for Assessing in Sectorized Water Distribution Networks</i>	Penggunaan <i>K-level</i> dan <i>resilience index</i> dapat digunakan untuk menunjukkan node-node yang berpotensi tidak dialiri air	<i>K-shortest path</i>
30	Campbell, 2016	<i>A Novel Water Supply Network Sectorization Methodology Based on a Complete Economic Analysis, Including Uncertainties</i>	Perencanaan DMA dengan mempertimbangkan biaya yang dibutuhkan dan <i>resilience index</i> dapat dilakukan dengan <i>social network - community detection</i> dan <i>monte carlo simulation</i>	<i>Social Network</i>

Pada tabel di atas dapat dilihat penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh para ahli. Tabel tersebut tentu merupakan sedikit dari penelitian yang ada di bidang jaringan distribusi air minum. Tabel tersebut setidaknya menggambarkan reformasi dari sistem jaringan distribusi menjadi model-model matematis agar perhitungan dapat dilakukan secara lebih cepat dan lebih mudah.

Beberapa penulis yang dicantumkan di tabel di atas ada yang mencantumkan hasil simulasinya. Beberapa jurnal yang berbeda ditulis oleh penulis yang sama namun dengan jenis algoritma yang sama sekali berbeda.



Gambar 4.3 Pembentukan DMA berdasarkan (a) Prosedur MLBR (b) prosedur *automatic*, (c) prosedur BFS
(Sumber: Alvisi, 2015)

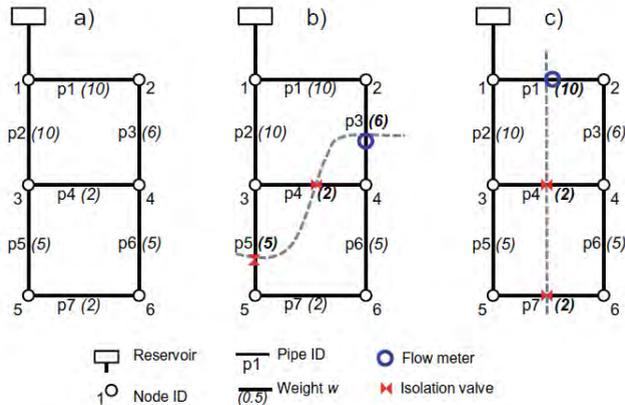
Pada gambar 4.1 Alvisi mengemukakan cara menyusun DMA menggunakan algoritma *Multilevel Balancing and Refinement Algorithm*. Gambar tersebut adalah gambar dari sistem jaringan distribusi air di suatu kota di Italia dengan panjang pipa 90 km dan jumlah penduduk yang dilayani tidak kurang dari 30.000. Gambar ini merupakan hasil dari penelitian yang ada di jurnal no pada tabel

Panjang pipa	90 km
Jumlah penduduk	>30.000
Jumlah pipa	391
Jumlah node	273

Jumlah loop	119
Debit rata-rata	89 L/s

Penulis membagi sistem jaringan distribusi di atas menjadi 3 DMA dengan jumlah sambungan rumah setiap DMA adalah sama. Gambar a, b, dan c di atas menunjukkan jaringan distribusi yang sama akan tetapi dengan metode pembentukan DMA yang berbeda. Metode yang digunakan oleh penulis adalah metode di gambar a.

Gambar a menunjukkan pembentukan DMA yang menggunakan prinsip *MLBR (Multi Level Balancing and Refinement)*. Metode ini menggunakan program METIS yang dibangun oleh Karypis pada tahun 2011. Program ini adalah program yang menjalankan partisi graf. Penulis juga melibatkan peletakkan meter air dengan mempertimbangkan kemampuan hidraulika dari jaringan tersebut.



Gambar 4.4 Penentuan Peletakkan Meter Air dan Valve Pada Jaringan Distribusi Air Minum
(Sumber: Alvisi, 2015)

Gambar menunjukkan cara meletakkan meter air dan valve. Penulis juga membandingkan metode yang ia gunakan

dengan metode yang digunakan penulis lainnya. Jadi, metode MLBR dibandingkan dengan metode

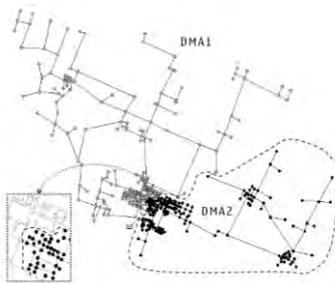
Tabel 4.2 Tabel I_r , I_{rd} , dan P_{min} Pada Pembentukan DMA dengan Metode yang Berbeda pada 3,4, dan 5 Titik Pengukuran

		I_r	I_{rd} (%)	P_{min} (m)
No districts		0.61	—	26.8
3 measuring points	Prop. Proc.	0.40	34.6	23.1
	M-Sym	0.12	80.3	21.8
	BFS	0.39	36.3	21.4
4 measuring points	Prop. Proc.	0.51	17.48	25.1
	M-Sym	0.43	29.5	24.2
	BFS	0.44	27.8	24.1
5 measuring points	Prop. Proc.	0.59	3.87	26.5
	M-Sym	0.55	10.4	25.7
	BFS	0.53	13.9	25.0

Tabel tersebut menunjukkan bahwa dibandingkan prosedur BFS dan prosedur M-Sym (algoritma graph partitioning menggunakan software METIS) menghasilkan kemampuan hidraulika yang lebih baik. Kemampuan hidraulika yang ditunjukkan disini diwakili oleh besaran I_r , I_{rd} dan P_{min} . I_r adalah resilience index, dimana semakin I_r mendekati angka 1, maka performa hidraulika semakin baik. Sedangkan I_{rd} adalah besarnya penurunan I_r dalam suatu jaringan setelah dan sebelum ada DMA. P_{min} adalah tekanan minimal yang dimiliki node. Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa prosedur MLBR menghasilkan kemampuan hidraulika yang lebih baik dibanding prosedur yang lain. Adapun rumus yang digunakan untuk memberi bobot pada masing-masing pipa/ *edges* adalah:

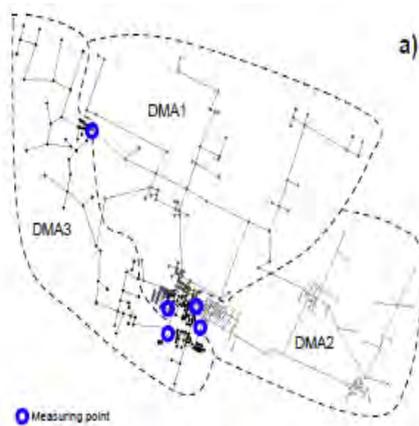
$$w = \left(\frac{\lambda}{D^2 g A^2} L \right)^{-1}$$

Dimana: D, A, L, dan λ berturut-turut adalah diameter, luas basah, panjang pipa, dan koefisien kekasaran.



Gambar 4.5 Peletakkan Meter Air DMA menggunakan Metode Global Gradient dan Optimisasi
(Sumber: Alvisi dan Franchini, 2015)

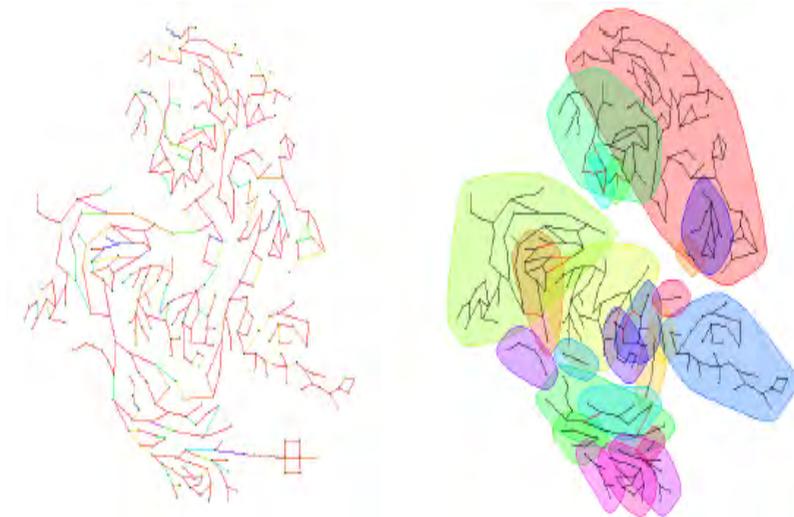
Pada gambar di atas menunjukkan pemilihan peletakkan meter air menggunakan prosedur yang digunakan oleh Alvisi dan Franchini pada tahun 2015. Metode ini hanya memberikan solusi untuk meletakkan meter air yang optimum berdasarkan *resilience index*. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah tidak menyediakan cara untuk membentuk area yang menyusun DMA.



Gambar 4.6 Pengelompokan DMA Menggunakan *Dijkstra Algorithm*
(Sumber: Alvisi dan Franchini, 2014)

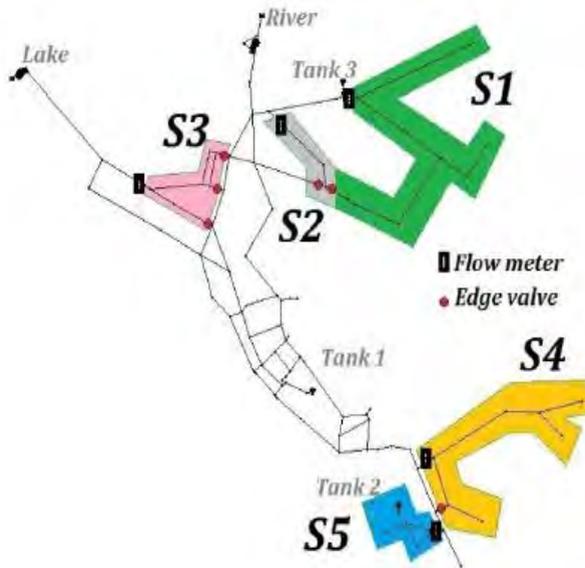
Pada gambar penulis menunjukkan hasil pembentukan DMA menggunakan *Dijkstra algorithm*. Menurut hasil yang dikemukakan oleh penulis, diketahui bahwa pembentukan DMA menggunakan *Dijkstra algorithm* lebih baik daripada menggunakan *graph partitioning*. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *Ir* dan tekanan minimum yang lebih baik.

Pembentukan DMA yang dilakukan oleh penulis mempertimbangkan pengelompokan node-node dan peletakkan meter yang meminimalkan pipa yang diputus.



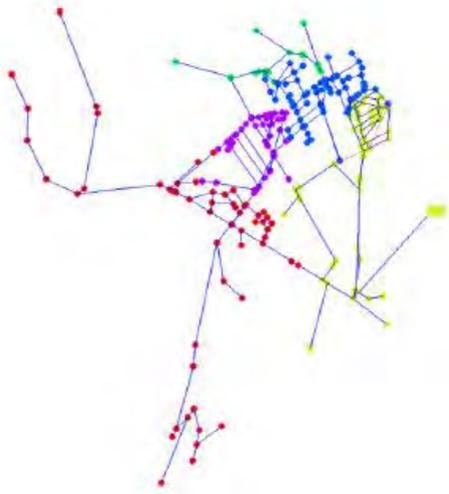
Gambar 4.7 Pembentukan DMA berdasarkan *community detection* (kanan) dibandingkan dengan jaringan distribusi eksisting (kiri) (Sumber: Campbell *et al.*, 2014)

Pada gambar penulis menunjukkan hasil pembentukan DMA melalui *label propagation algorithm*. Berbeda dengan algoritma/ metode-metode yang digunakan oleh penulis lain. Campbell memisahkan antara pipa jaringan utama dan pipa yang lain.



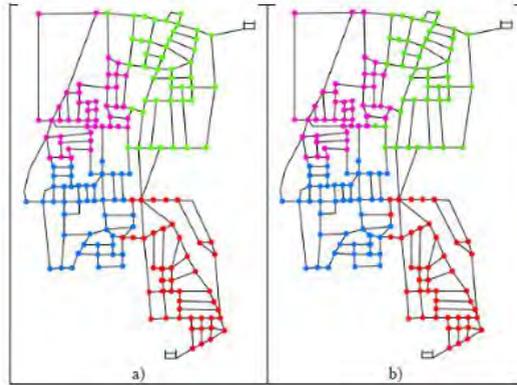
Gambar 4.8 Pembentukan DMA Menggunakan *Social Network Theory*
(Sumber: Campbell *et al.*, 2014)

Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang mempunyai 91 junctions, 2 reservoir, 3 tank, dan 2 pompa menggunakan social network theory algorithm. Berbeda dengan pembentukan DMA dengan penulis yang lainnya, pembentukan DMA disini tidak mencakup semua area. Seperti terlihat pada gambar bahwa hanya terdapat 5 DMA (DMA berbeda dengan warna berbeda) dan terdapat area putih yang tidak membentuk DMA. Hal ini dikarenakan letak sumber air yang tidak terdistribusi merata. Sehingga, akan lebih baik jika ada beberapa wilayah tidak membentuk DMA.



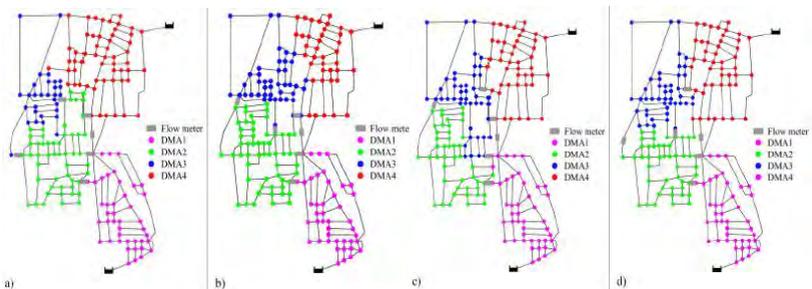
Gambar 4.9 Pembentukan DMA Berdasarkan *Graph Theory* dan *Multi-Objective Algorithm*
(Sumber: De Paola *et al.*, 2014)

Pada gambar di atas penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang mempunyai 268 node, 313 pipa, dan 1 sumber air menjadi 5 DMA. Penulis membagi jaringan menjadi DMA berdasarkan 2 pertimbangan, yakni ketahanan hidraulik dan harga (harga investasi dan harga air yang hilang) untuk membentuk DMA. Selain itu, penulis juga membatasi jumlah sambungan rumah dalam 1 DMA, yakni berkisar 500 – 5000. Algoritma yang digunakan adalah NSGA-II dan Floyd-Warshall yang digabungkan menggunakan Pareto front. Algoritma NSGA-II digunakan untuk mencari harga optimum dari pembentukan DMA, sedangkan algoritma Floyd-Warshall digunakan untuk mencari rute terpendek. Rute terpendek di dalam sistem distribusi jaringan air minum penting untuk memastikan bahwa kualitas air tidak semakin memburuk.



Gambar 4.10 Pembentukan DMA berdasarkan (a) algoritma DFS dan (b) *ant algorithm*
(Sumber: Di Nardo *et al.*, 2014)

Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang melayani 10.800 jiwa menjadi 4 DMA. DMA dibentuk atas dasar bobot yang hampir sama. Bobot pada pipa adalah kehilangan energi, sedangkan bobot pada node adalah debit pipa. Masing-masing DMA tersebut mempunyai 45-46 node. Setelah membagi DMA, penulis kemudian meletakkan valve-valve pembatas dan meter DMA.

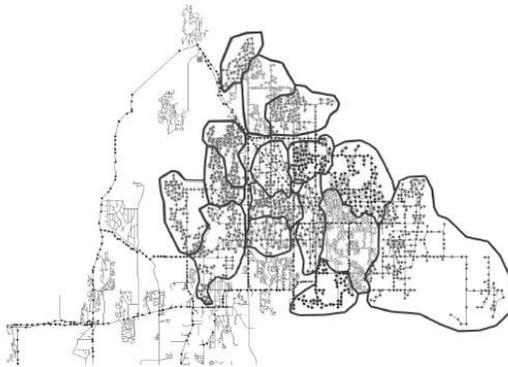


Gambar 4.11 Pembentukan DMA berdasarkan (a) *EBC algorithm*, (b) *FGC algorithm*, (c) *MA algorithm*, dan (d) *MLRB algorithm*
(Di Nardo *et al.*, 2015)

Pada gambar di atas penulis membuat DMA menggunakan 2 langkah. Langkah pertama/ network clustering bertujuan untuk membentuk DMA dan menetapkan ukuran serta dimensinya. Sedangkan, langkah kedua/ partitioning bertujuan untuk memilih pipa yang manakah yang akan diputus serta penentuan letak valve.

Langkah pertama adalah network clustering, network clustering ini dilakukan dengan dua macam cara. Network clustering dilakukan dengan graph partitioning algorithm dan community structure. Graph partitioning algorithm dilakukan dengan multilevel recursive bisection atau multi agent. Community structure dilakukan dengan edge betweenness community atau fast greedy algorithm. Sedangkan, langkah kedua adalah network partitioning. Network partitioning dilakukan dengan menggunakan genetic algorithm untuk memaksimalkan daya yang didapat di setiap node.

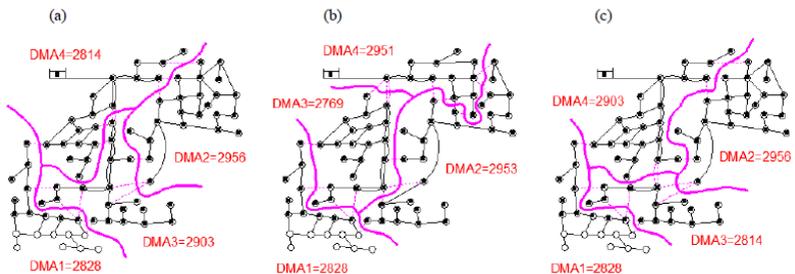
Penggunaan algoritma EBC dan MA adalah algoritma terbaik dibandingkan algoritma yang lainnya. Kedua algoritma tersebut kemudian dijalankan dengan menggunakan algoritma genetika.



Gambar 4.12 Pembentukan DMA berdasarkan BFS,
(Sumber: Ferrari *et al.*, 2014)

Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang mempunyai 150.000 jiwa, 2 reservoir, 2 tank, 2 pompa, dan 5 valve

menjadi 20 DMA dengan batasan 500-5000 sambungan rumah tiap DMA. Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum menjadi DMA menggunakan algoritma BFS (*Breadth First Search*). Pencarian anggota node-node untuk DMA dilakukan menggunakan algoritma tersebut. Kemudian, batasan anggota DMA dievaluasi menggunakan jumlah debit air dalam satu DMA. Penulis juga memastikan bahwa setiap DMA akan mempunyai sambungan langsung dengan pipa utama distribusi. Sehingga, di awal penulis mengidentifikasi pipa utama distribusi.



Gambar 4.13 Batas DMA berdasarkan (a) hidrolika, (b) karakteristik fisik jaringan, (c) *performance indicators* (Sumber: Gomes *et al.*, 2015)

Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang mempunyai debit rata-rata 383,40 m³/hari, panjang pipa total 26,5 km dan dialiri secara gravitasi menjadi 3 DMA menggunakan Floyd-Warshall algorithm. Algoritma ini bertujuan untuk mencari jalur terpendek di dalam suatu rute. Disebutkan bahwa rute terpendek dapat tercapai dengan baik jika menggunakan pertimbangan hidraulika, karakteristik fisik jaringan, atau performance indices.

$$\Delta H_j = J_j \times L_j = K_j \times \frac{Q_j^\alpha}{D_j^\beta}$$

ΔH_j di atas mewakili karakteristik hidraulik. ΔH - head loss; J - unit head loss; L – panjang pipa; K – koefisien kekasaran; Q – debit

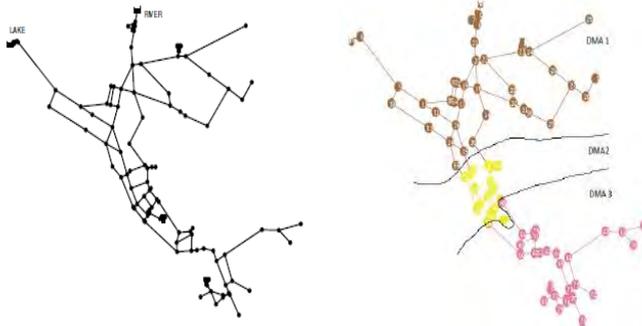
pipa; D – diameter pipa; α and β - exponents of the resistance law for flow and diameter,

$$C_j = \frac{(D_j \times L_j)}{\sum_{j=1}^{NP} (D_j \times L_j)}$$

Nilai C_j di atas mewakili karakteristik fisik yang diwakili oleh diameter pipa (D) dan panjang pipa (L). Sedangkan performance indicators yang digunakan disini adalah UARL (*Unavoidable Annual Real Losses*). UARL adalah jumlah air hilang minimum yang tidak dapat dihindari.

UARL (L/hari) = {Panjang pipa utama (km) + Jumlah Koneksi (buah) + Panjang pipa sambungan rumah (Km)} x Tekanan rata-rata (m)

UARL (L/hari) = (18 x L_m + 0,8 x N_c + 25 x L_p) x P



Gambar 4.14 Jaringan Distribusi sebelum dibentuk DMA (kiri) dan setelah dibentuk DMA (kanan)
(Sumber: Hajebi *et al.*, 2013)

Penulis membagi sistem jaringan distribusi air minum yang meliputi area seluas 150 km² menjadi 3 DMA. Sistem distribusi

tersebut mempunyai 92 node, 2 reservoir, 3 tank, 2 pompa dan 117 pipa. Penulis menggunakan algoritma k-means clustering. Hal tersebut disebabkan karena penulis ingin membagi sistem jaringan distribusi air minum pada daerah tersebut atas dasar kemiripan elevasi tanahnya. Masing-masing DMA tersebut mempunyai elevasi rata-rata 25, 15, dan 12.



Gambar 4.15 Pembentukan DMA di sistem jaringan distribusi
(Sumber: Izquredo *et al.*, 2011)

Izquredo membagi jaringan distribusi air minum yang ada menjadi 3 DMA. Langkah awal yang digunakan adalah menentukan jumlah DMA yang akan dibentuk, yakni sebanyak 3 buah DMA. Ketiga DMA ini mempunyai elevasi tanah rata-rata yang hampir sama antara satu DMA dan DMA lainnya. Algoritma yang digunakan untuk membentuk DMA adalah *multi agent system*. Penulis menggunakan batasan (1) rantang panjang total dalam satu DMA, (2) elevasi rata-rata yang hampir sama, (3) rantang debit yang dibatasi. Rumus yang digunakan oleh penulis adalah:

$$\text{Min} \sum_{c=1}^C [\alpha_z(z_i - \bar{z}_c) + \alpha_d(d_i - \bar{d}_c)]$$

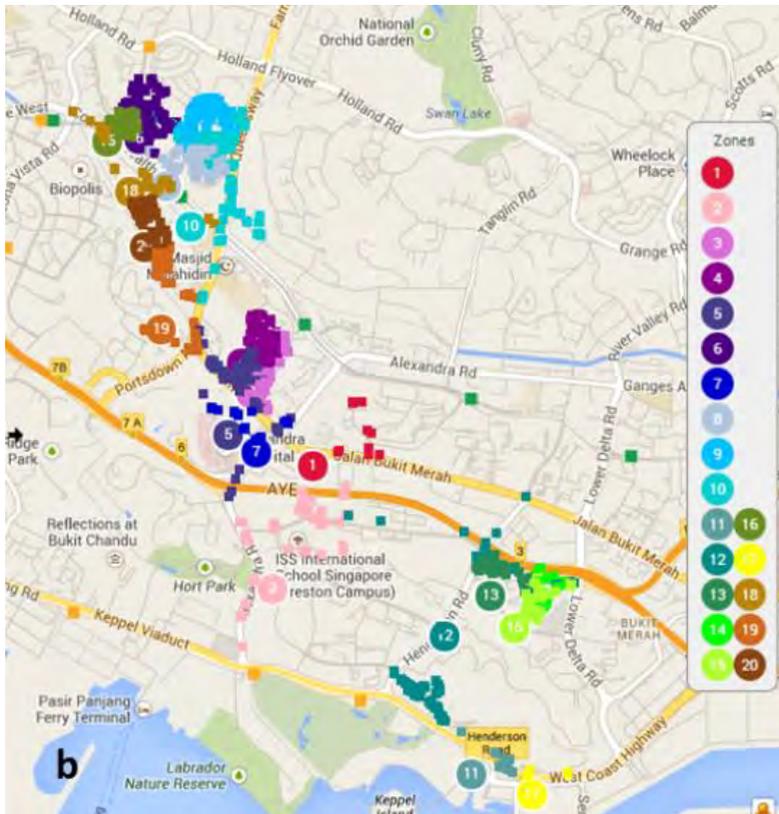
Dimana α_z dan α_d adalah bobot yang berdasarkan ketinggian, z , dan debit, z_c dan d_c adalah z dan debit rata-rata di DMA- c . C adalah jumlah DMA yang diinginkan. Hal ini



Desain DMA Menggunakan Fast-Greedy Algorithm
(Sumber: Scibetta *et al.*, 2014)

Penulis menggambarkan bahwa sistem jaringan air minum sebagai *community structure*. Sistem jaringan distribusi di atas terdiri dari 12523 node dan 14822 pipa. Sistem jaringan distribusi yang ada dibagi menjadi 21 DMA. Algoritma yang digunakan oleh

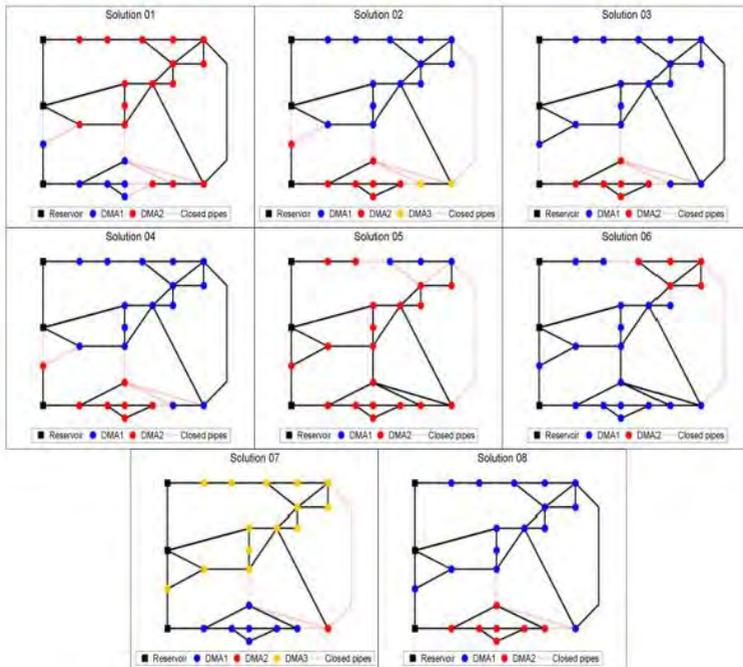
penulis adalah *fast-greedy algorithm*. Sebagai penilaian pengelompokan yang baik digunakan *modularity* ($0 - 1$; 0 tidak terkelompok, 1 terkelompok dengan baik). Hasil menunjukkan bahwa 21 DMA tersebut menghasilkan modularity sebesar 0,9 (sangat baik).



Gambar 4.16 Pembentukan DMA Menggunakan Graph Partitioning (Sumber: Perelman *et al.*, 2014)

Penulis membagi jaringan distribusi air minum yang terdiri dari 2440 node, 1932 pipa, 592 valve, satu reservoir, satu tank, enam pumps, dan melayani 120.000 orang menjadi 20 DMA. Graph partitioning adalah prosedur yang mengelompokkan suatu

n objek dalam suatu jaringan menjadi k DMA dengan beberapa syarat. Syarat tersebut adalah beban dari DMA-DMA hampir sama dan persilangan antar DMA diminimalkan.



Gambar 4.17 Pembentukan DMA berdasarkan metode (Sumber: Galdiero, 2015)

Performansi dari suatu perencanaan DMA dapat diketahui meskipun DMA tersebut belum diimplementasi. Hal ini dikarenakan DMA tersebut sudah direncanakan letak valve-valve dan meter airnya. Sehingga dapat disimulasi performansi hidrauliknya di perangkat lunak seperti EPANET. Mengetahui performansi sangat penting untuk mengambil keputusan di masa yang akan datang.

Algoritma adalah metode untuk memecahkan suatu masalah dalam komputer. Kekompleksan dari algoritma adalah hal yang sangat penting, dapat diukur dari waktu yang diperlukan

untuk menyelesaikan masalah, memori yang dibutuhkan, atau unit apapun yang mendukung pemecahan masalah (Wilf, 1994). Algoritma adalah langkah-langkah yang digunakan untuk mengubah masukan menjadi keluaran (Cormen *et al.*, 2009). Algoritma ada sebelum komputer ada, adanya komputer telah memudahkan pekerjaan dan implementasi dari DMA.

Beberapa penulis memasukkan optimisasi sebagai salah satu langkah dalam merencanakan DMA. Konsep optimisasi sekarang dikenal sebagai dasar untuk menganalisis dan menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan banyak. Optimisasi memberikan penyelesaian untuk permasalahan yang kompleks. Penyelesaian tersebut dipengaruhi variabel-variabel yang mempengaruhinya (Luenberger dan Ye, 2008). Sebuah permasalahan optimasi (*optimization problem*), yang dimodelkan secara matematis, umumnya terdiri dari fungsi-fungsi tujuan (*objective functions*) dan kendala-kendala (*constraints*). Fungsi tujuan merepresentasikan tujuan yang ingin dioptimalkan (Mahmudy dan Rahman, 2011). Jika dirangkum berdasarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode yang digunakan oleh penulis maka dapat dilihat seperti tampak pada tabel di bawah.

Tabel 4.3 Algoritma yang Digunakan untuk Mendesain DMA

Penulis	Algoritma yang digunakan	Indikator Pembeding (sebelum-sesudah)	Faktor Finansial	Ukuran DMA
Alvisi dan atau Franchini	<i>Breadth First Search, Multilevel Balancing and Refinement</i>	<i>Resilience Index</i> dan Tekanan	Pertimbangan biaya yang berbanding lurus dengan semakin besarnya diameter	Ada

Penulis	Algoritma yang digunakan	Indikator Pemanding (sebelum-sesudah)	Faktor Finansial	Ukuran DMA
Campbell	<i>Social network, community detection, Label Propagation</i>	<i>Resilience Index</i> dan Tekanan	Optimasi biaya pemasangan <i>valve</i> , meter air, dan air yang dapat disimpan karena kontrol tekanan	Ada
De Paola et al.	<i>Multi-objective optimization, k-means clustering algorithm</i>	<i>Resilience Index</i>	Optimasi biaya pemasangan <i>valve</i> , energi yang hilang karena kebocoran, dan <i>discounting rate</i>	Ada
Di Nardo et al.	<i>Multi Level Recursive Bisection, Multi Agent, Edge Betweenness Community, Fast Greedy Community, Ant Algorithm</i>	<i>Resilience Index, flow deficit index</i> dan Tekanan	Tidak ada	Ada
Diao et al.	<i>Community Structure</i>	Tidak ada	Tidak ada	Tidak
Ferrari et al.	<i>Breadth First Search</i>	Tidak ada	Tidak ada	Ada

Penulis	Algoritma yang digunakan	Indikator Pembeding (sebelum-sesudah)	Faktor Finansial	Ukuran DMA
Galdiero	<i>Multi-Objective Evolutionary Algorithm</i>	<i>Resilience index</i>	Biaya Kehilangan air, biaya konstruksi, dan <i>discounting rate</i>	Ada
Giustolisi dan Ridolfi	<i>Modularity</i>	Tidak ada	Tidak ada	Tidak
Gomes <i>et al.</i>	<i>Floyd-Warshall Algorithm dan Simulated Annealing</i>	Tidak ada	Optimasi biaya pemasangan <i>valve</i> , meter air, dan pipa yang diganti	Ada
Hajebi <i>et al.</i>	<i>K-means algorithm, Multi Agent System, Graph Partitioning, NSGA-II.</i>	Tidak ada	Optimasi biaya pemasangan <i>valve</i> , meter air, dan pipa yang diganti	Ada
Herrera	<i>Multi agent system, K-shortest path</i>	Tidak ada	Tidak ada	
Izquierdo <i>et al.</i>	<i>Multi Agent System</i>	Tidak ada	Tidak ada	Ada
Perelman <i>et al.</i>	<i>Graph Clustering, Community Structure, Graph Partitioning,</i>	Tidak ada	Tidak ada	Ada

Penulis	Algoritma yang digunakan	Indikator Pemanding (sebelum-sesudah)	Faktor Finansial	Ukuran DMA
	<i>Greedy Algorithm</i>			
Savic dan Ferrari	<i>Breadth first search</i>	<i>Resilience index</i> dan <i>water age</i>	Tidak ada	Ada
Scibetta et al.	<i>Fast-greeding algorithm</i>	Tidak ada	Tidak ada	Tidak

Berdasarkan jurnal-jurnal yang telah ditelaah, maka algoritma yang paling lengkap adalah algoritma yang diajukan oleh De Paola et al., 2014 Automatic Multi-objective Sectorization of a Water Distribution Network. Pada metode yang diajukan tersebut, penulis menggunakan *Floyd-Warshall algorithm* dan NSGA-II yang digabungkan hasilnya dengan Pareto Front. Penulis mempertimbangkan aspek teknis dan aspek finansial dalam pembentukan DMA. Aspek teknis yang digunakan adalah jumlah debit dalam satu DMA serta tekanan minimal yang dikehendaki. Sedangkan aspek finansial adalah harga konstruksi DMA, harga kehilangan air, dan harga energi yang digunakan untuk mendistribusikan air.

Ukuran DMA yang dimaksud pada tabel menunjukkan bahwa ukuran DMA sudah ditentukan atau belum. Beberapa metode membutuhkan ukuran DMA yang ditentukan di awal, seperti rentang dan adapula yang tidak ditentukan.

Ant algorithm pertama kali dikemukakan oleh Marco Dorigo di tesis pascasarjananya di Italia pada tahun 1992 sebagai sebuah pendekatan *multi-agent* untuk penyelesaian masalah optimisasi seperti *traveling salesman problem* (TSP) dan *quadratic assignment problem* (QAP) (Dorigo et al., 1999). *Community Structure* juga disebut "*clustering*" dalam ilmu sosiologi dan ilmu komputer (Clauset et al., 2004). *Edge Betweenness Community*, jika suatu jaringan memiliki *edge betweenness* yang kecil, maka

pasangan node-node di dalamnya berada dalam kelompok yang sama (Luo *et al.*, 2011).

Algoritma *greedy* merupakan jenis algoritma yang menggunakan pendekatan penyelesaian masalah dengan mencari nilai maksimum sementara pada setiap langkahnya. Nilai maksimum sementara ini dikenal dengan istilah *local maximum*. Pada kebanyakan kasus, algoritma *greedy* tidak akan menghasilkan solusi paling optimal, begitupun algoritma *greedy* biasanya memberikan solusi yang mendekati nilai optimum dalam waktu yang cukup cepat (Sim, 2014).

Floyd Warshall merupakan salah satu algoritma pencarian yang dapat digunakan dalam menghitung jalur terpendek, dan mampu membandingkan semua kemungkinan lintasan pada *graph* untuk setiap sisi dari semua simpul yang ada (Jayanti, 2014). *Clustering* adalah suatu metode pengelompokan berdasarkan ukuran kedekatan (kemiripan). *Clustering* berbeda dengan *group*. *Group* berarti kelompok yang sama, kondisinya kalau tidak ya pasti bukan kelompoknya. Tetapi kalau *cluster* tidak harus sama akan tetapi pengelompokannya berdasarkan pada kedekatan dari suatu karakteristik sampel yang ada (Satriyanto, 2008).

Graph Partitioning merupakan salah satu algoritma *clustering* yang dapat digunakan untuk mencari kesamaan pola jaringan. Performansi dari algoritma *graph partitioning* dalam membentuk *cluster* pola navigasi akan dievaluasi dengan menggunakan *modularization quality* (Wiweko, 2014). K-Means merupakan salah satu metode data *non-hierarchical clustering* yang dapat mengelompokkan data mahasiswa ke dalam beberapa *cluster* berdasarkan kemiripan dari data tersebut (Ramadhani, 2014).

K-shortest path adalah pencarian k jalur terpendek yang menghubungkan antara sumber dan tujuan (Eppstein, 1997). *Label propagation* merupakan penamaan semua node di dalam struktur graf (Zhukof, 2015). *Multi Agent System* adalah paradigma pengembangan sistem dimana dalam suatu komunitas sistem terdapat beberapa *agent*, yang saling berinteraksi, bernegosiasi dan berkoordinasi satu sama lain dalam menjalankan pekerjaan (Wahono, 2001).

Modularity adalah salah satu metode pengukuran jaringan/graf. *Modularity* didesain untuk mengetahui kekuatan divisi dari

sebuah jaringan. *Modularity* digunakan untuk mencari komunitas dalam suatu jaringan (Newman, 2006). NSGA II (*Non-dominated sorting genetic algorithm*) merupakan salah satu *evolutionary algorithm* yang populer digunakan pada permasalahan optimisasi *multi-objective*, yaitu dengan mencari solusi yang mendekati pareto optimal (Isnaeni, 2015).

Metode *Simulated Annealing* adalah metode minimisasi yang biasa dipakai untuk mencari harga minimum global suatu fungsi. Yang dimaksud dengan harga minimum global adalah harga minimum terendah suatu fungsi (Anwar, 2010). *Social network theory* merupakan metode untuk menganalisis struktur dari jaringan sosial sebagai struktur terpolanya sesuai jaringan itu sendiri (Wasserman dan Faust, 1994).

4.1.4 Menutup/ Membuat Valve-Valve Batas Antara Satu DMA Dengan DMA Yang Lain

Valve-valve dibutuhkan untuk membentuk DMA agar antara satu DMA dan DMA yang lainnya tidak terdapat hubungan. Sehingga air yang keluar dari meter air setiap DMA akan berbeda. DMA membutuhkan valve yang bermacam-macam. Beberapa valve yang dibutuhkan akan diuraikan di sub bab ini.

Gate valve adalah valve yang digunakan untuk mengisolasi bagian-bagian dari pipa pada saat-saat emergensi, seperti untuk perawatan dan perbaikan kerusakan. Gate valve dapat dibuka secara penuh atau ditutup secara penuh tapi tidak secara reguler dibuka tutup. Gate valve digunakan untuk memisahkan antara satu DMA dan DMA lainnya. Selain itu, gate valve juga dapat berfungsi untuk valve untuk melakukan washout/ pembersihan pipa. Sehingga, ketika melakukan washout, gate valve akan dibuka untuk mengeluarkan kotoran-kotoran dalam pipa.



Gate Valve
(Sumber: Cooper, 2016)

Butterfly valve adalah valve yang terdiri dari disk/ lempeng datar yang berputar pada sumbu di diameter pipa untuk mengatur aliran. Valve ini dapat digunakan untuk mengisolasi atau mengatur aliran. Mekanisme penutupan mengambil bentuk disk. Operasi ini mirip dengan yang dari katup bola, yang memungkinkan untuk menutup secara cepat. Butterfly valve memiliki kelebihan karena harga yang relatif lebih murah dan massanya yang ringan.



Butterfly Valve
(Sumber: AEW, 2015)

Jumlah valve yang ingin dipasang untuk membentuk beberapa DMA dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Beberapa penelitian menetapkan jumlah valve sesuai dengan rumus optimasi. Rumus optimasi pernah digunakan oleh Di Nardo *et al.*, 2014 dalam jurnalnya yang berjudul “*Water Network Sectorization Based On Graph Theory And Energy Performance Indices*”.

$$OF_{DP} = \gamma \sum_{j=1}^{m_s} q_i \Delta H_i$$

Dimana:

OF adalah *objective function*/ fungsi objektif

$m_s = M - y$; y jumlah valve, M jumlah seluruh pipa

q_i adalah debit untuk setiap pipa

ΔH_i adalah headloss pipa

4.1.5 Melakukan Pemasangan Meter Air

Pemilihan lokasi meter air dilakukan di tempat yang ditentukan oleh pegawai yang bersangkutan dengan beberapa alasan, seperti kepemilikan lahan, kemudahan pemantauan, dan keekonomisan biaya pemasangan. Beberapa peneliti dan praktisi telah melakukan penelitian mengenai peletakan meter air yang sesuai dengan menggunakan rumus optimasi. Beberapa rumus yang digunakan untuk meletakkan meter air ini oleh penulis juga disambungkan oleh jumlah DMA yang dikehendaki. Sehingga, banyaknya meter air disesuaikan dengan banyaknya DMA yang ingin dibentuk.

Meter air yang digunakan untuk mencatat air suatu DMA berbeda dengan meter air yang berada di pelanggan/ rumah-rumah pelanggan. Hal ini dikarenakan bahwa meter air yang dipasang untuk mencatat air DMA adalah berukuran besar (sekitar 100 mm atau lebih), berbeda dengan meter pelanggan yang dipasang pada pipa yang berukuran sangat kecil. Komponen dari meter air DMA terdiri dari:

- *Electromagnetic Flow Meter*
- *Pressure Reducing Valve*; jika tekanan kecil, PRV tidak diperlukan
- *Strainer*
- *By Pass Connection*
- *Panel Box*

4.1.6 Memastikan DMA Sudah Terisolasi

DMA yang sudah terisolasi sangat penting, hal ini berkaitan dengan air yang mengalir menuju dan keluar dari DMA tersebut. Tes ini dilakukan saat DMA sudah terbentuk. Cara mengisolasi DMA adalah dengan melakukan tes isolasi. Tes isolasi ini melakukan pengamatan terhadap aliran air di DMA. Tes isolasi ini juga disebut sebagai ZPT (*Zero Pressure Test*).

- ZPT dilakukan untuk mengetahui bahwa DMA yang telah terbentuk sudah terisolasi dengan baik,
- Ketika valve pembatas ditutup dan titik inflow juga ditutup, tekanan dalam DMA harus 0,
- Tes dilakukan saat jam pemakaian minimum (01.00 – 04.00).

4.2 Contoh Perencanaan DMA

Berdasarkan langkah-langkah yang telah dijabarkan sebelumnya, maka diberikan suatu contoh perencanaan DMA. Daerah yang akan direncanakan DMA berikut ini adalah suatu daerah yang terdiri dari 2000 pelanggan.

PDAM Surya Sembada adalah satu-satunya perusahaan yang menyediakan sistem distribusi air di Kota Surabaya melalui jaringan perpipaan. Sistem distribusi air di PDAM Surya Sembada membagi jaringan distribusinya menjadi 5 bagian/ subzona sesuai dengan Peraturan Daerah No 5 Mei 2001. Subzona tersebut adalah Surabaya Utara, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Selatan, dan Surabaya Pusat. Terdapat 148 zona DMA yang telah direncanakan oleh PDAM Surya Sembada berdasarkan kecamatan. Terdapat 2.853.661 jiwa yang terdaftar secara resmi di Surabaya pada tahun 2014. Persen pelayanan PDAM Surya Sembada tergolong besar, sekitar 95%. Jika dibentuk DMA dengan batasan SR 500-5000,

Tugas Akhir ini mencontohkan perencanaan DMA daerah Rungkut Mapan Barat, Rungkut Mapan Timur, dan Rungkut Mapan Tengah. Daerah-daerah tersebut merupakan daerah yang berada di Surabaya Timur. Daerah-daerah tersebut merupakan perumahan dengan tipikal yang hampir sama dan terletak saling berdampingan.

Rungkut Mapan Barat, Rungkut Permai dan Rungkut Mapan Tengah berada di subzona perencanaan 111. Rungkut Mapan Barat terdiri dari 616 pelanggan. Rungkut Permai terdiri dari 277 pelanggan. Rungkut Mapan Tengah terdiri dari 472 pelanggan. Sehingga ketiga daerah tersebut mempunyai total sebanyak 1376 pelanggan. Rungkut Mapan Barat dibatasi wilayah subzona 106 dan 112 pada sisi utara, subzona 102 di sisi barat, dan subzona 116 di sisi timur. Maka, jika dijumlahkan seluruh daerah tersebut mempunyai sebanyak 1376 pelanggan. Jumlah pelanggan yang dimaksud disini adalah jumlah sambungan rumah, karena setiap rumah terdiri dari 1 meter air.

4.2.1 Menyiapkan Peta Jaringan Air Minum

Diameter pipa air minum pada sistem distribusi sangat bergantung kepada kebutuhan air daerah yang dilayani. Diameter pipa bergantung pada kebutuhan air (debit air), jarak tempuh air (panjang pipa), kecepatan minimal yang diinginkan dan tekanan minimal yang diinginkan di setiap sambungan rumah/ pelanggan. Setiap orang mempunyai kebutuhan air minum yang berbeda-beda. Keempat daerah perencanaan dalam tugas ini juga mempunyai kebutuhan air yang berbeda-beda. Meskipun begitu, kebutuhan air minumannya cenderung tidak berbeda jauh. Pada sistem jaringan distribusi yang sudah terbentuk, maka data-data yang ada dapat dimasukkan di *database* untuk *Geographic Information System (GIS)*. Sehingga, saat hendak dilakukan evaluasi dan perencanaan tambahan, perencana dapat melihat di GIS sistem jaringan distribusi yang bersangkutan.

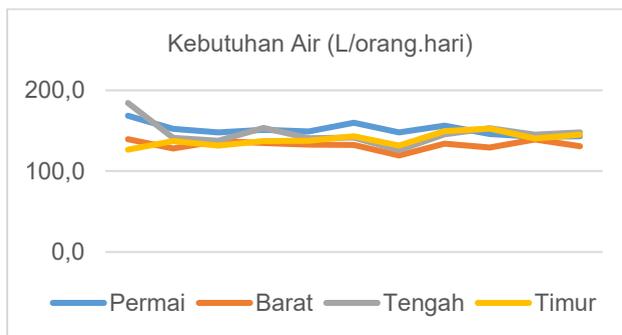
Tabel 4.4 Data Kebutuhan Air di Daerah Perencanaan

Bulan	Kebutuhan Air (L/orang hari)			Rata-rata (L/detik)
	Rungkut Mapan			
	Permai	Barat	Tengah	
1	155,9	132,7	169,3	0,0017
2	168,6	139,6	184,4	0,0018
3	152,5	128,1	141,2	0,0017
4	147,9	137,3	137,5	0,0017
5	151,3	134,9	153,4	0,0017

Kebutuhan Air (L/orang hari)				Rata-rata (L/detik)
Bulan	Rungkut Mapan			
	Permai	Barat	Tengah	
6	149,1	132,8	141,0	0,0017
7	160,0	132,5	141,8	0,0017
8	148,1	119,4	126,0	0,0016
9	156,4	134,0	145,6	0,0018
10	145,8	129,1	153,1	0,0018
11	142,6	139,1	145,2	0,0017
12	143,2	130,7	147,8	0,0017

Sumber: Data PDAM dan perhitungan

Debit pipa air minum pada daerah perencanaan akan menggunakan debit air rata-rata untuk setiap daerah perencanaan. Debit ini merupakan debit perkiraan dari kecenderungan data yang ada sebelumnya. Data yang dimaksud adalah data rekening pelanggan pada bulan Februari 2015 hingga Desember 2015. Data menunjukkan bahwa konsumsi air rata-rata pelanggan PDAM Surya Sembada adalah sebesar 0,0017 L/orang.detik atau sama dengan 150 L/orang.hari.



Gambar 4.18 Kebutuhan Air (L/orang.hari) di Surabaya

Debit digunakan untuk mengevaluasi diameter air yang sudah ada. Sistem jaringan distribusi air minum, setidaknya ada tiga hal yang diperiksa, (1) kecepatan memenuhi, (2) kehilangan tekanan ada dalam rentang, (3) tekanan minimal yang

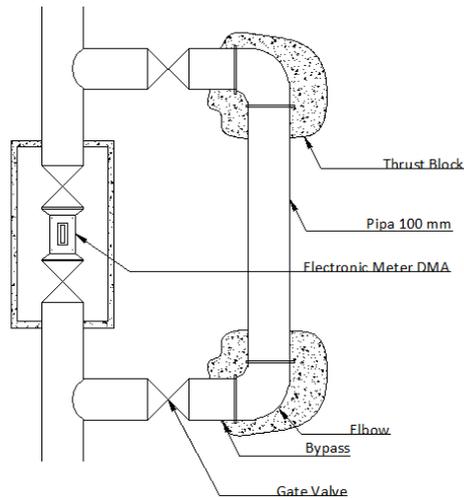
dikehendaki. Dalam pembentukan DMA, jika ketiga hal tersebut sudah dicapai dengan baik, maka hal yang harus dilihat dari GIS adalah konfigurasi sistem jaringan distribusi air minum. Hal tersebut meliputi tata letaknya, panjang pipa, diameter pipa, dan aksesoris-aksesoris lain yang digunakan.

4.2.2 Menetapkan Rentang Jumlah dan Membentuk DMA

Rentang yang dapat digunakan untuk membentuk DMA 1.000 dan 2.500 sambungan rumah (Farley dkk., 2008), 500-3000 sambungan rumah (Hajebi et al., 2014), 500-5000 sambungan rumah (Morrison, 2007). Pada contoh perencanaan DMA ini rentang jumlah yang ditetapkan yakni 500-5000 SR. Pemilihan kriteria desain ini dikarenakan pada pembentukan DMA ini daerah yang akan direncanakan DMA nya adalah daerah bertipe perumahan. Sehingga, bentuk sistem distribusi airnya sudah terkelompok-kelompok. Sama seperti jenis peruntukkan daerah lainnya, pada daerah dengan peruntukkan perumahan didapatkan sistem jaringan distribusi air minum akan mengikuti bentuk perumahan. Terlihat pada gambar bahwa jaringan distribusi air minumannya relatif terpisah antara daerah perumahan dan daerah non-perumahan. Sehingga, untuk membentuk DMA dengan mudah dan cepat dapat dilakukan dengan mengelompokkan satu perumahan tersebut.

4.2.3 Menutup/ Membuat Valve dan Memasang Meter Air

Valve-valve berguna untuk membuat batasan antara satu DMA dan DMA lain. Beberapa valve yang sering digunakan diantaranya adalah gate valve dan boundary valve. Total dan jenis yang dibutuhkan serta biaya lain yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel. Pemasangan meter DMA juga dilakukan sepaket bersama pemasangan gate valve, pipa untuk bypass, dan thrust block. Pemasangan aksesoris pipa tersebut selain disesuaikan dengan ketersediaan pasar, kondisi pipa, dan kondisi lapangan.

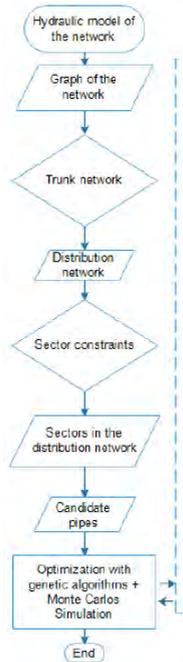


Gambar 4.21 Meter DMA

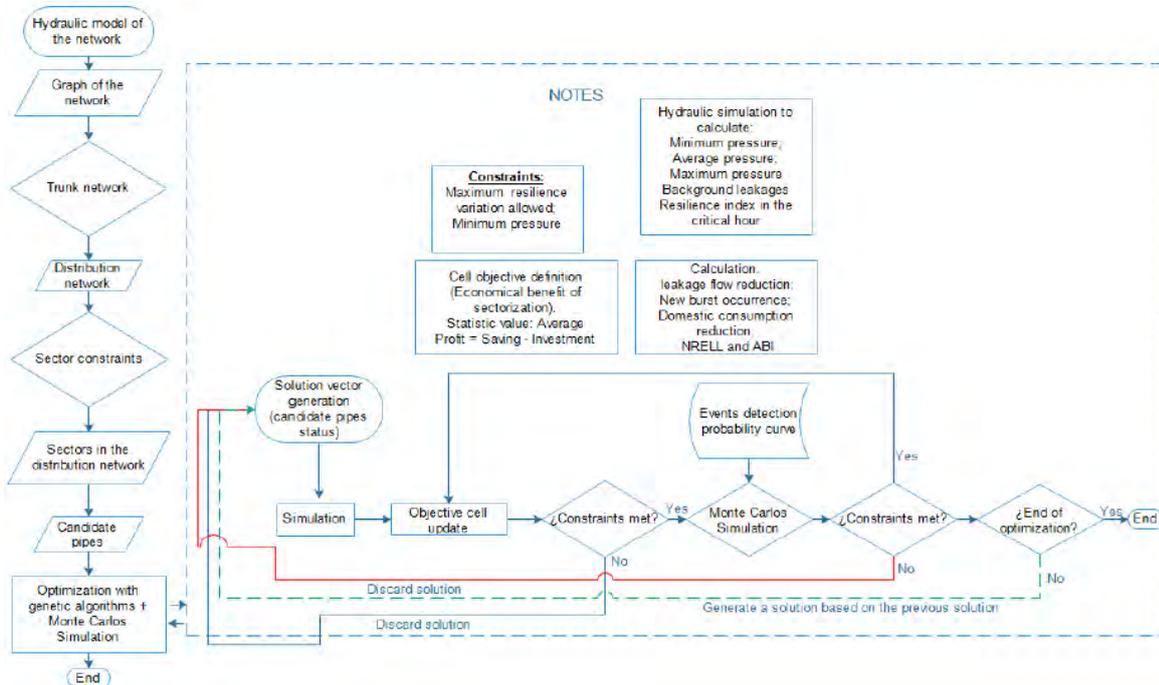
4.2.4 Memastikan DMA Sudah Terisolasi

Tahap ini dapat dilakukan jika valve-valve pembatas sudah terpasang. Tahap ini sekaligus memastikan bahwa DMA yang terbentuk sudah tidak mempunyai hubungan dengan DMA yang lainnya dan hanya dialiri oleh air yang merupakan sumber rencananya. Letak tes isolasi DMA dilakukan pada titik ditunjukkan di peta.

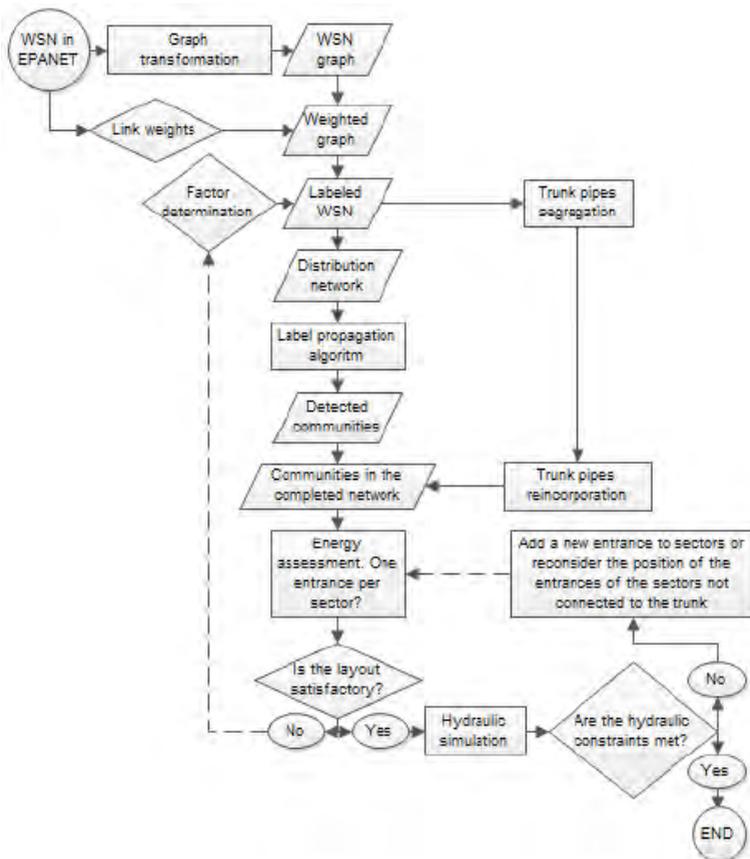
4.3 Contoh Algoritma yang Digunakan untuk Membentuk DMA



Gambar 4.22 Pembentukan Algoritma Menggunakan *Social Network*, *Genetic Algorithm*, dan *Monte Carlo Simulation* (Sumber: Campbell *et al.*, 2016)

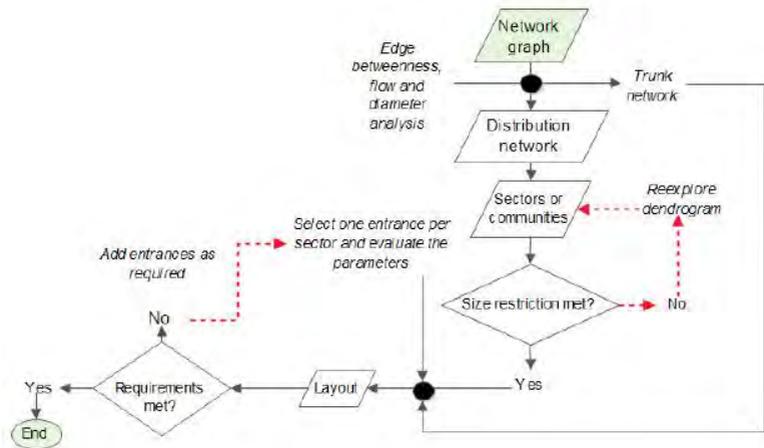


Gambar 4.23 Pembentukan Algoritma Menggunakan *Social Network*, *Genetic Algorithm*, dan *Monte Carlo Simulation*
 (Sumber: Campbell *et al.*, 2016)

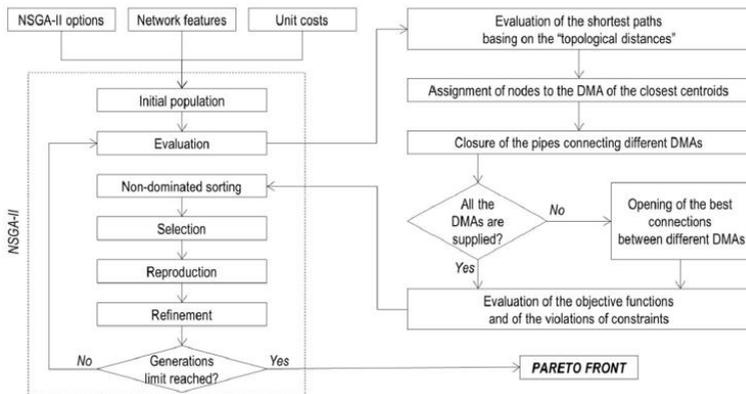


Gambar 4.24 Pembentukan DMA Menggunakan *Label Propagation Algorithm*
(Sumber: Campbell *et al.*, 2014)

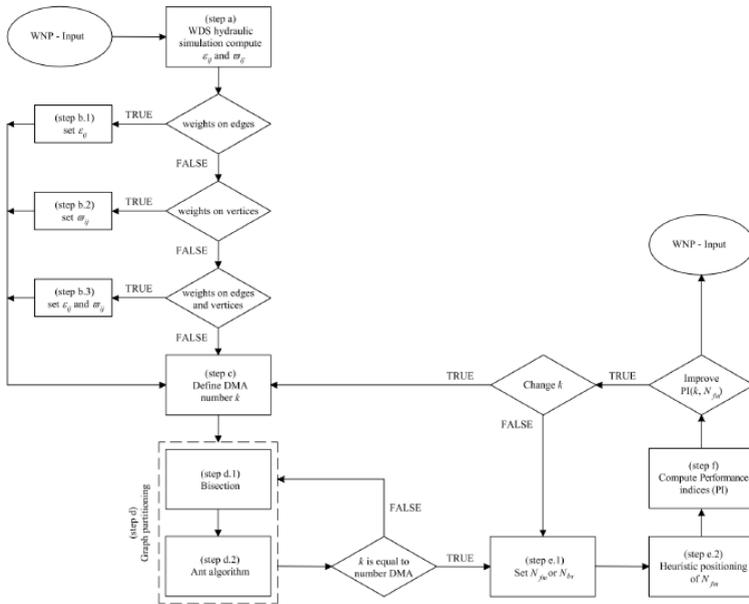
Pada pembentukan algoritma yang dilakukan oleh Campbell *et al.*, digunakan algoritma community detection.



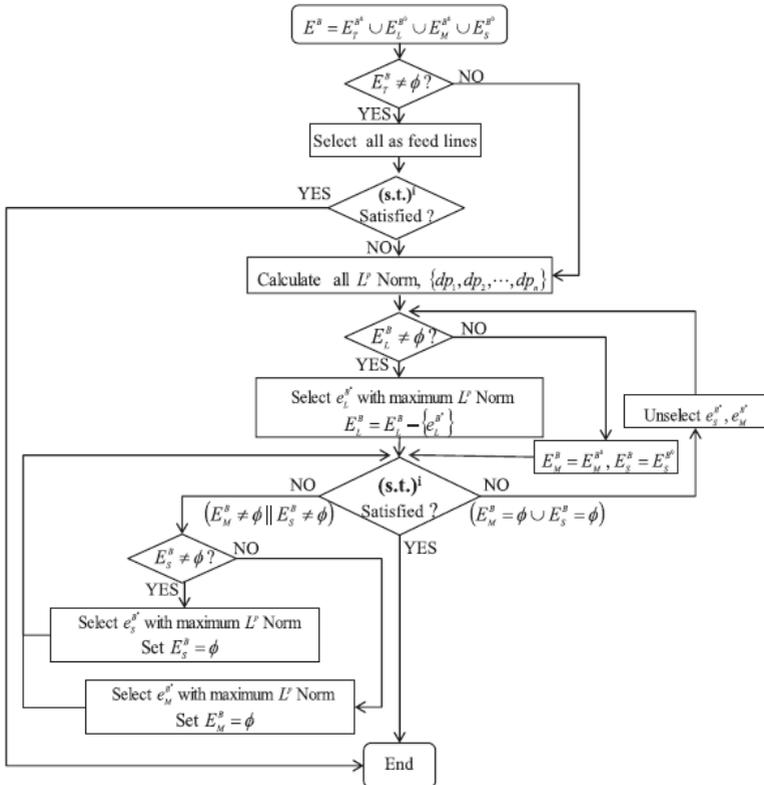
Gambar 4.25 Pembentukan DMA Menggunakan *Social Network Theory* (Sumber: Campbell et al., 2014)



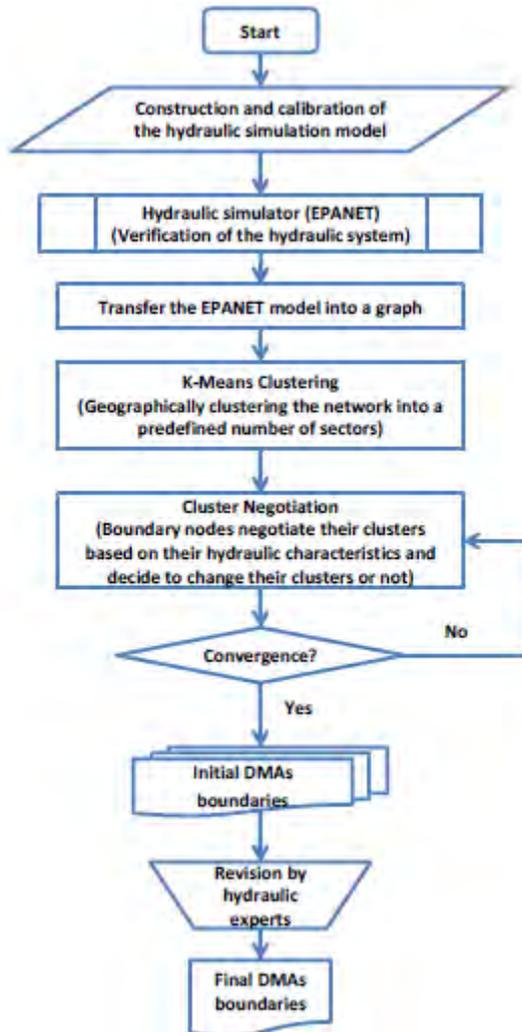
Gambar 4.26 Pembentukan DMA Menggunakan *Floyd Warshall*, *NSGA II*, dan *Multi Objective Algorithm* (Sumber: De Paola et al., 2014)



Gambar 4.27 Pembentukan DMA Menggunakan *Ant Algorithm*
(Sumber: Di Nardo *et al.*, 2014)



Gambar 4.28 Pembentukan DMA Menggunakan *Community Structure* (Sumber: Diao *et al.*, 2013)



Gambar 4.29 Pembentukan DMA Menggunakan *Multi Agent System* (Sumber: Hajebi, 2013)

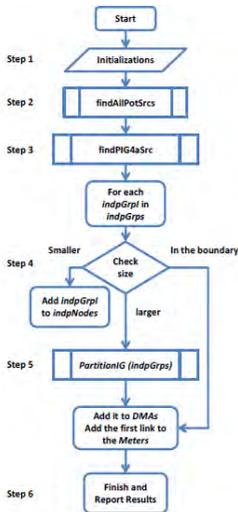


Fig. 1. Flowchart of WDN-Cluster

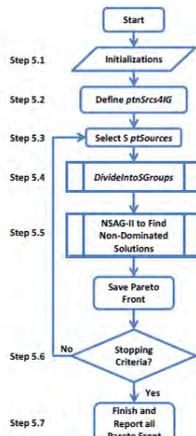


Fig. 2. Flowchart of PartitionIG (Step 5)

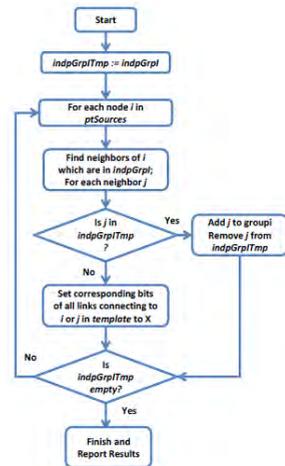


Fig. 3. Flowchart of DivideIntoSGroups (Step 5.4)

Gambar 4.30 Pembentukan DMA Menggunakan *Graph Partitioning*, *Multiobjective Optimization*, dan *NSGA II* (Sumber: Hajebi *et al.*, 2014)

4.4 Performance Indices

Performance indices adalah salah satu hal yang dapat menggambarkan kemampuan suatu sistem jaringan distribusi air minum. Pembuatan DMA akan mengakibatkan penurunan kualitas *performance indices* suatu sistem jaringan distribusi air minum. Oleh karena itu, sebelum pembentukan DMA, *performance indices* suatu jaringan hendaknya dihitung terlebih dahulu.

Kesuksesan dari implementasi DMA dalam menangani kebocoran ternyata tidak terlepas dari beberapa dampak. Hal ini dikarenakan adanya penutupan beberapa pipa yang menyebabkan hidrolika jaringan menjadi berubah.

Performance indices adalah faktor-faktor yang dapat merepresentasikan jaringan air. *Performance indices* jaringan air sebelum dan setelah pembentukan DMA tentu akan berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan dalam topologi jaringan air tersebut. Hal ini dapat saja berdampak terhadap hidraulika jaringan air tersebut.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Performance indices ini mengukur tekanan air baik tekanan air rata-rata, minimum, maksimum, dan juga standar deviasi tekanan pada setiap node yang dibandingkan dengan *resilience index* I_R , untuk mengukur kemampuan suatu jaringan distribusi air mampu memenuhi permintaan (*demand*) dan tekanan di nodes.

$$I_r = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} q_i (H_i - H_i^*)}{\sum_{m=1}^{n_0} Q_m H_m - \sum_{i=1}^{n_n} q_i H_i^*}$$

I_r adalah *resilience index* dimana q_i , H_i dan H_i^* secara berturut-turut adalah debit, tekanan eksisting, dan tekanan minimal pada node i -th, dan Q_m dan H_m adalah debit dan tekanan yang diasosiasikan dengan node m -th. Semakin tinggi nilai I_r , maka kehilangan energi (energi mengalirkan air di dalam pipa) semakin kecil. Nilai I_r sebelum ada DMA dan sesudah ada DMA dapat saja berubah, perubahan nilai I_r ini dapat dinyatakan dengan persentase pengurangan. Selain menggunakan rumus di atas, nilai I_r juga dapat dihitung menggunakan rumus yang lain. Rumus ini digunakan oleh Campbell pada jurnalnya yang berjudul "*Water Supply Network Based on Social Network Community Detection Algorithm*" pada tahun 2014.

$$P_t = \frac{\rho \times g \times \left[\left(\sum_{i=1}^t Q_i \times H_i \right) + \left(\sum_{p=1}^p Q_p \times H_p \right) \right]}{1000}$$

Dimana:

Pt: Tekanan total tangki yang tersedia, kW

ρ : masa jenis air, 1000 kg/m³

g: percepatan gravitasi, m²/s

Qt: debit yang keluar dari tangki i , m³/s

Ht: tekanan total pada tangki i , m

Q_p : debit pompa i , $m^3 \cdot s$

H_p : tekanan pompa i , m

$$P_n = \frac{\rho \times g \times \left(\sum_{i=1 \dots n} Q_i \times H_i \right)}{1000}$$

Dimana:

P_n : tekanan node, kW

ρ : masa jenis air, 1000 kg/m^3

g : percepatan gravitasi, m^2/s

Q_i : debit node i , m^3/s

H_i : tekanan total pada node i , m

$$P_n^{required} = \frac{\rho \times g \times \left[\sum_{i=1 \dots n} Q_i \times (E_i + P_i^{required}) \right]}{1000}$$

Dimana:

$P_n^{required}$: daya yang dibutuhkan di masing-masing node untuk melayani tekanan minimal, kW

E_i : elevasi pada node i , m

$P_i^{required}$: tekanan minimal yang dibutuhkan di node i , m

$$P_o = P_t - P_n$$

Dimana:

P_o : daya yang dibutuhkan untuk beroperasi, kW

P_t : daya yang tersedia, kW

P_n : daya di semua node, Kw

$$I_r = 1 - \frac{P_o^{real}}{P_o^{required}}$$

$$I_{hr} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1..n} Q_i^x \times H_i^x}{\sum_{i=1..n} Q_i^0 \times H_i^0} \right) \times 100$$

Indeks pengurangan tekanan/ *Index of head reduction* dapat digunakan untuk menilai kemampuan sebuah DMA jika terdapat batasan minimal tekanan. Q dan H berturut-turut adalah debit dan tekanan. Q_i^x adalah debit pada node i setelah perencanaan DMA. Q_i^0 adalah debit pada node i sebelum perencanaan DMA.

$$I_{fd} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \begin{cases} Q_{a,i} > Q_i \Rightarrow \alpha_i = 1 \\ 0 \leq Q_{a,i} \leq Q_i \Rightarrow \alpha_i = \frac{Q_{a,i}}{Q_i} \end{cases}$$

Flow deficit index. Indeks ini dikomputasikan menggunakan pendekatan PDA; sedangkan dengan pendekatan *demand driven analysis (DDA)* besar dari indeks ini selalu bernilai 1. $Q_{a,i}$ adalah debit berdasarkan pendekatan PDA.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pembentukan DMA dapat mengubah performa hidraulik dari suatu sistem jaringan distribusi air minum. Hal ini tentu dapat menjadi pertimbangan dalam merencanakan DMA. Beberapa perubahan dari performance indices dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4.5 Performance Indices Sistem Jaringan Distribusi Air Minum Sebelum (A) dan Sesudah (B) Pembentukan DMA

Sumber		Campbell et al., 2014	Alvisi, 2015	Di Nardo et al., 2014	Savic dan Ferrari, 2014
Ir	A	0,24	0,61		0,84
	B	0,23	0,59		0,81
Ird				12%	

Sumber		Campbell et al., 2014	Alvisi, 2015	Di Nardo et al., 2014	Savic dan Ferrari, 2014
Ihr		1,61%			
Pmaks(m)	A	98,53			
	B	98,27			
Prata-rata (m)	A	38,57			
	B	27,03			
Pmin(m)	A		26,8		
	B		26,5	20,95	
Water age (jam)	A				30,71
	B				31,62

A: sebelum ada DMA

B: sesudah ada DMA

4.5 BOQ dan RAB DMA yang Direncanakan

Berdasarkan rencana peletakan meter air, gate valve, boundary valve, dan aksesoris lainnya yang direncanakan di subbab-subbab sebelumnya, maka dapat dihitung besarnya biaya untuk membangun DMA sesuai dengan tabel di bawah.

Tabel 4.6 BOQ dan RAB Pengerjaan *Boundary Valve* dan Meter Air DMA

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rupiah)	Harga (Rupiah)
1	Pembersihan lapangan berat	m^2	24	15.900 ¹	381.600
2	Penggalian Tanah	m^3	36	77.250 ¹	2.781.000
3	Pemotongan pipa	m'	12	169.074 ¹	2.028.888
4	Pengadaan dan Pemasangan	Buah	4	1.779.600 ²	7.118.400

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rupiah)	Harga (Rupiah)
	Gate Valve 100 mm				
5	Pengadaan dan Pemasangan Butterfly Valve 150 mm	Buah	5	3.706.600 ²	18.533.000
6	Pengadaan dan Pemasangan Butterfly Valve 100 mm	Buah	2	3.088.000 ²	6.176.000
7	Pengadaan Elbow 100 mm	Buah	2	46.260 ²	92.250
8	Pengadaan dan Pemasangan Meter Air 100 mm	Buah	1	100.000.000 ²	100.000.000
9	Pengurugan tanah dengan pemadatan bahan	m ³	36	211.900 ¹	7.628.400
10	Pengerjaan Thrust Block	m ³	0,18	598.400	107.712
11	Total RAB				132.537.362

Harga satuan didapatkan dari HSPK Kota Surabaya¹ dan Standar Satuan Harga PDAM Surya Sembada²

Besarnya biaya yang dibutuhkan untuk merencanakan DMA dan valve untuk flow step testing pada Perumahan Rungkut Mapan Permai, Barat, dan Tengah yang melayani 1.376

sambungan rumah (diperkirakan 5 orang tiap sambungan rumah) adalah sebanyak Rp. 132.537.362 (Seratus Tiga Puluh Dua Juta Lima Ratus Tiga Puluh Tujuh Tiga Ratus Enam Puluh Dua Rupiah).

LAMPIRAN 1



Rencana Lokasi Meter DMA



Rencana Lokasi V1



Rencana Lokasi V2



Rencana Lokasi V3



Rencana Lokasi V4



Rencana Lokasi V5



Rencana Lokasi V6

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Cara merencanakan DMA secara berturut-turut adalah menyiapkan peta jaringan, menetapkan rentang jumlah, membentuk DMA sesuai dengan rentang jumlah, menutup/ membuat valve batas, memastikan DMA sudah terisolasi, dan melakukan pemasangan meter air. Pembentukan DMA di suatu jaringan distribusi air minum yang sudah ada memerlukan peralatan berupa valve-valve, meter air, dan aksesorisnya.
2. Hal-hal yang dijadikan sebagai faktor penilaian baik/ tidaknya DMA yang sudah terbentuk meliputi *resilience index*, *tekanan*, *flow deficit index*, dan *water age*.
3. Algoritma/ prosedur dalam merencanakan DMA dapat menggunakan satu atau kombinasi dari beberapa algoritma. Algoritma untuk mendesain DMA dapat berupa algoritma *partitioning*, *sectorization*, *clustering*, dan *community detection*. Algoritma yang dapat digunakan untuk merencanakan DMA meliputi algoritma *Ant Algorithm*, *Breadth First Search*, *Community Structure*, *Edge Betweenness Community*, *Floyd-Warshall Algorithm*, *Graph clustering*, *Graph Partitioning*, *K-means algorithm*, *K-shortest path*, *Label Propagation*, *Multi Agent System*, *Modularity*, *NSGA II (Non-dominated sorting genetic algorithm)*, *Simulated Annealing*, *Social network theory*. Perencanaan DMA dapat menggunakan algoritma dengan pertimbangan biaya konstruksi, kehilangan uang karena air yang hilang, *discounting rate*.

5.2 Saran

1. Kehilangan air setiap jaringan distribusi air minum mempunyai latar belakang/ penyebab yang berbeda-beda. Setiap penyebab yang berbeda dapat

mempunyai target penurunan kebocoran yang berbeda-beda. Sebelum menentukan kebocoran yang ingin dicapai, dapat diteliti terlebih dahulu (1) penyebab kebocoran, dan (2) nilai ekonomi kebocoran yang efektif. Terdapat suatu nilai tertentu dimana biaya perbaikan kebocoran akan lebih besar daripada keuntungan yang diperoleh saat kebocoran dapat teratasi.

2. Pembentukan DMA mengakibatkan beberapa perubahan hidrolika pada sistem jaringan distribusi air minum yang dapat dinyatakan dengan performance indices. Sebelum membentuk DMA, sebagai salah satu bahan pertimbangan, dapat dihitung terlebih dahulu performance indices awal suatu jaringan untuk mengetahui kelayakan atau ketidaklayakan pembentukan DMA di jaringan tersebut.
3. Setiap daerah mempunyai karakteristik yang berbeda. Ada daerah yang terdapat di daratan yang relatif datar, akan tetapi ada pula daerah yang terdapat di daratan yang berbukit-bukit. Dari beberapa penelitian pembentukan DMA menggunakan algoritma, daerah-daerah yang dijadikan topik penelitian pada umumnya adalah daratan dengan topografi cenderung datar.
4. Penyusunan DMA dapat menggunakan bobot seperti diameter pipa, panjang pipa dan faktor koefisien kekasaran dalam pengerjaan algoritma.
5. Penilaian baik atau tidaknya sebuah algoritma dapat dinilai salah satunya dari waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan yang diberikan. Dalam jurnal-jurnal yang ada tidak semua penulis mencantumkan berapa lama waktu yang dibutuhkan.
6. Perbandingan metode yang ada dapat diketahui jika daerah yang digunakan sama atau minimal ada satu faktor yang sama. Sedangkan dari jurnal-jurnal yang dikaji dalam tugas akhir ini, tidak semua jurnal memenuhi kriteria tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alegre, H., W. Hirner, J.M. Baptista, and R. Parena. 2000. **Performance Indicators for Water Supply Services - IWA Manual of Best Practice**. London: IWA Publishing.
- Alvisi, S. dan Franchini, M. 2014. "A procedure for the design of district metered areas in water distribution systems". **Procedia Engineering**, 70: 41 – 50.
- Alvisi, S. dan Franchini, M. 2015. "A Linearization Approach for Improving the Computational Efficiency of Water Distribution System Ranking-based Optimization Algorithms". **Procedia Engineering**, 119 (2015) 516 – 525.
- Alvisi, S. 2015. "A New Procedure for Optimal Design of District Metered Area Based on the Multilevel Balancing and Refinement". **Water Resour Management**, (2015) 29:4397–4409.
- Anita Engineering Work. 2015. **Butterfly Valves**. Diakses dari <http://eascovalves.com/aboutus.html> tanggal 23 Juni 2016.
- Anonim. 2016. **What is Geographic Information Systems (GIS)?**. Diakses dari <http://gisgeography.com/what-gis-geographic-information-systems/> tanggal 15 Juni 2016.
- Anwar, F. 2010. **Metode Minimisasi Simulated Annealing**. Diakses dari [http://fanwar.staff.uns.ac.id/2010/04/24/metode-mini misasi-simulated-annealing/](http://fanwar.staff.uns.ac.id/2010/04/24/metode-mini-misasi-simulated-annealing/) tanggal 20 Mei 2016.
- Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. 2014. **Kinerja PDAM 2014 Wilayah II (Pulau Jawa)**. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Banyar, J.K. dan Savic, D.A. 2011. **Water Distribution System**. London: ICE Publishing.
- Boulos, F. P. dan Aboujaoude, A. S. 2011. "Managing leaks using flow step-testing, network modelling, and field measurement". **Journal AWWA**: 103:2.
- Campbell, E., Ayala-Cabrera, D., Izquierdo, J., Perez-Garcia R., Tavera, M. 2014. "Label Propagation Algorithm Based

- Methodology for water supply network sectorization". **Int. J. Complex Systems in Science** vol. 4(1), pp. 35–39.
- Campbell, E., Ayala-Cabrera, D., Izquierdo, J., Perez-Garcia R. 2014 . "Water Supply Network Sectorization Based on social networks community detection algorithms". **Procedia Engineering** 89, 1208 – 1215.
- Campbell, E., Ayala-Cabrera, D., Izquierdo, J., Perez-Garcia R. 2016. "A Novel Water Supply Network Sectorization Methodology Based on a Complete Economic Analysis, Including Uncertainties". **Water**, 8, 179.
- Clauset, A., Newman, M. E. J., and Moore, C. 2004. **Finding community structure in very large networks**. *Phys. Rev. E*, 70: 6.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. 2009. **Introduction to Algorithms Third Edition**. Massachusetts: The MIT Press.
- Creaco, E dan Franchini, M. 2015. "The identification of loops in water distribution networks". **Procedia Engineering** 119: 506 – 515
- Criminisi, A., Fontanazza, C., Freni, G., Loggi, G. 2009. "Evaluation of the Apparent Losses Caused by Water Meter Under-Registration in Intermittent Water Supply". **Water Sci. Technol.**, 60 (9): 2373 – 2382.
- De Paola F., Fontana, N., Galdiero, E., Giugni, M., Savix, D., Soregenti, G. 2014. "Automatic Multi-Objective Sectorization of a Water Distribution Network". **Procedia Engineering**, 89: 1200 – 1207.
- De Paola F., Fontana, N., Galdiero, E., Giugni, M., Soregenti, G., Vitaletti, M. 2014. "Optimal Design of District Metered Areas in Water Distribution Networks". **Procedia Engineering**, 70: 449 – 4457.
- Deuerlein, J. W. 2008. "Decomposition Model of a General Water Supply Network Graph". **J. Hydraul. Eng.**, 134(6): 822-832.
- Di Nardo, A., Di Natale, M., Giudicianni, C., Musmarra, D., Santonastaso, G. F., Simone, A. 2015. "Water distribution system clustering ant partitioning based on social network algorithms". **Procedia Engineering**: 119: 196 – 205.

- Di Nardo, A., Di Natale, M., Greco, R., Santonastaso G.F. 2014. "Ant algorithm for smart water network partitioning". **Procedia Engineering**, 70: 525 – 534.
- Di Nardo, A., Di Natale, M., Santonastaso, G. F., Tzatchkov, V. G., Alcocer-Yamanaka, V. H. 2014. "Water network sectorization based on graph theory and energy performance indices". **Journal of Water Resource Planning and Management**, Vol. 140, No. 5.
- Diao, K., Zhou, Y., Rauch, W. 2013. "Automated Creation of District Metered Area Boundaries in Water Distribution Systems". **Journal of Water Resource Planning and Management**, 140(12), 139: 184-190.
- Dorigo, M, Di Caro, G, Gambardella L. M. 1999. "Ant algorithms for discrete optimization". **Artif Life Spring**, 5(2):137-72.
- Eppstein, D. 1999. Finding The K Shortest Paths. **SIAM Journal of Computer** 28 (2):652–673.
- Fallis, P., Hübschen, K., Oertlé, E., Ziegler, D., Klingel, P., Knobloch, A., Baader, J., Trujillo, R., dan Laures, C. 2011. **Guidelines for water loss reduction : A Focus on Pressure Management**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Fanner, P. V., Sturm, R., Thornton, J., dan Liemberger, R. 2007. **Leakage Management Technologies**. Nashville: AwwaRF, AWWA, dan IWA.
- Fantozzi, M., Lalonde , A., Lambert, A., Waldron, T. 2005. **Some international experiences in promoting the recent advances in practical leakage management**. Diakses dari <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571270614/RecentAdvancesPracticalLeakageManagement.pdf> tanggal 23 Juni 2016.
- Farley, M., Wyeth, G., Bin Md. Ghazali, Z., Istandar, A., Singh, S. 2008. **Buku Pegangan tentang Air Tak Berekoning (NRW) untuk Manajer: Panduan untuk Memahami Kehilangan Air**. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya PU.
- Farley, M. dan Liemberger, R. 2005. "Developing a Non-Revenue Water reduction strategy: Planning and implementing the strategy". **Water Supply**, 5(1), 41–50.

- Ferrari, G., Savic, D., and Becciu, G. 2014. "Graph - Theoretic Approach and Sound Engineering Principles for Design of District Metered Areas". **J. Water Resour. Plann. Management**, 140: 12.
- Galdiero, Enzo. 2015. **Multi-Objective Design of District Metered Areas in Water Distribution Networks**. A thesis: Universita Degu Studi Di Napoli Federico II.
- Gheisi, A., Shabani, S., Naser, Gh. 2015. "Flexibility Ranking of Water Distribution System Designs Under Future Mechanical and Hydraulic Uncertainty". **Procedia Engineering**, 119: 1202 – 1211.
- Giustolisi, O. dan Ridolfi, L. 2014. "Modularity Index For The Segmentation Of Water Distribution Networks". **International Conference on Hydroinformatics. Paper 148**.
- Gomes, R., Sousa, J., Muranho, J., Marques, A. S. 2015. "Differrent Design Criteria for District Metered Areas in Water Distribution Networks". **Procedia Engineering**, 119: 1221 – 1230.
- Gomes, R., Sousa, J., Sá Marques, A. 2014. "Influence of future water demand patterns on the district metered area areas design and benefits yielded by pressure management". **Procedia Engineering**, 70: 744 – 752.
- Haestad, M., Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., dan Koelle, E. 2003. **Advanced Water Distribution Modelling and Management**. Waterbury, USA: Haestad Press.
- Hajebi, S., Barrett, S., Clarke, A., dan Clarke, S. 2013. "Multi-agent simulation to support water distribution network partitioning". Conference Paper, **In 27th European Simulation and Modelling Conference - ESM'2013**.
- Hajebi, S., Temate, S., Baret, S., Clarke, A., dan Clarke, S. 2014. "Water Distribution Network Sectorization Using Structural Graph Partitioning and Multi-Objective Optimization". **Procedia Engineering**, 89: 1144 – 1151.
- Herrera, Manuel. 2011. **Improving water network management by efficient division into supply clusters**. A thesis: Universitat Politecnica De Valencia.

- Herrera, M., Abraham, E., Stoianov, I. 2016. "A Graph-Theoretic Framework for Assessing The Resilience of Sectorized Water Distribution Networks". **Water Resource Management**, 30:1685–1699.
- Isnaeni, S. 2015. **Penerapan Algoritma Genetika Multi-objective NSGA-II Pada Optimasi Portofolio Saham**. Skripsi: Telkom University.
- Izquierdo, J., Herrera, M., Montalvo, I., Perez-Garcia. 2011. "Division of Water Supply Systems into District Metered Areas Using a Multi-Agent Based Approach". **Software and Data Technologies**, pp. 167 – 180.
- Jayanti, N. K. D. A. 2014. "Penggunaan Algoritma Floyd Warshall Dalam Masalah Jalur Terpendek Pada Penentuan Tata Letak Parkir". **Seminar Internasional Informatika: STMIK STIKOM Bali**.
- Johnson, M., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2009. **Twort's Water Supply 6th Edition**. UK: Elsevier.
- Kirstein, J. K., Albrechtsen, H. J., Rygaard, M. 2016. "Simplification of Water Distribution Network Simulation by Topological Clustering – Investigation of its Potential Use in Copenhagen's Water Supply Monitoring and Contamination Contingency Plans". **Procedia Engineering**, 89, 1184-1191.
- Klaas, D. K. S. Y. 2009. **Desain Jaringan Pipa: Prinsip Dasar dan Aplikasi**. Bandung: Mandar Maju.
- Luenberger, D. G., Ye, Yinyu. 2008. **Linear and Nonlinear Programming**. Springer Science: Stanford.
- Luo, T., Zhong, C., Ying, X., Fu, J. 2011. "Detecting Community Structure Based on Edge Betweenness". **Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)**: Ningbo University.
- Macal, C.M. dan North, M.J. 2009. "Agent-based modelling and simulation conference (WSC)". **IEEE**, pp 363 – 369.
- Mahmudy, W. F., Rahman, M. A. 2011. "Optimasi Fungsi Multi-Obyektif Berkendala Menggunakan Algoritma Genetika Adaptif Dengan Pengkodean Real". **Jurnal Ilmiah KURSOR** Volume 6, No 1: 19-26.
- Morrison, John. 2004. "Managing leakage by District Metered Areas: a practical approach". **Water21** 2004, 44-46.

- Morrison, J., Tooms, S., Rogers, D. 2007. **District Metered Areas: Guidance Notes version 1**. Water Loss Management: International Water Association.
- Newman, M. E. J. 2006. "Modularity and community structure in networks". **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 103 (23): 8577–8696.
- Perelman, L.S., Allen, M., Preis, A., Iqbal, M and Whittle, A. J. 2014. "Multi-level automated sub-zoning of water distribution systems". **International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)** 7th Intl.
- Ramadhani, R. D. 2014. "Data Mining Menggunakan Algoritma K-Means Clustering Untuk Menentukan Strategi Promosi Universitas Dian Nuswantoro". **Jurnal Sistem Informasi**: 12, 3.
- Rossmann, L. A. 2000. **EPANET 2: User Manual**. USA: US EPA.
- Satriyanto, E. 2008. **Sebuah catatan ringkas aplikasi statistic (Clustering)**. Diakses dari <https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjldG9nOfMAhUCFZQKHaahAcYQFgg3MAQ&url=http%3A%2F%2Fkangedi.lecturer.pens.ac.id%2Fmateri%2520kuliah%2Fmatakuliah%2520statistik%2Fclustering.doc&usq=AFQjCNEaMIVDSsb11naOHOsrXH3oVMcOzw&sig2=rat1wZbcQnxXDquFY0qTRw> tanggal 20 Mei 2016.
- Savic, D dan Ferrari, G. 2014. "Design and performance of district metering areas in water distribution system". **Procedia Engineering**, 89: 1136 – 1143.
- Scibetta, M., Boano, F., Revellia, R., dan Ridolfi, L. 2014 "Community detection as a tool for district metered areas identification". **Procedia Engineering**, 70: 1518 – 1523.
- Sophocleous, S., Savic, D., Kapelan, Z., Shen, Y., dan Sage, P. 2015. "Advances in water mains network modelling for improved operations". **Procedia Engineering**, 119: 593 – 602.
- Swamee, P. K., Sharma, A. K. 2008. **Design of Water Supply Pipe Networks**. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- Wahono, R. S. 2001. "Multi Agent Systems: Issues, Approaches and Challenges". **IECI Japan Refreshing Seminar** Vol. 3, No.2, 2001, pp. 22-37.
- Wasserman, S., Faust, K. 1994. **Social Network Analysis in the Social and Behavioral Sciences**. Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wilf, H. S. 1994. **Algorithms and Complexity**. Philadelphia: University of Pennsylvania. Diakses dari <http://www.cis.upenn.edu/wilf> tanggal 12 Mei 2016.
- Wiweko, B. S. 2014. **Analisis dan Implementasi Web Usage Mining Menggunakan Algoritma Graph Partitioning (Studi Kasus : Tuneeca Online Store)**. Tugas Akhir: Telkom University.
- Xim, A. X. A. 2014. **Algoritma Greedy**. Diakses dari <https://bertzzie.com/knowledge/analisis-algoritma/Greedy.html> tanggal 12 Mei 2016.
- Zhukof, L. E 2015. **Structural Analysis and Visualization of Networks**. Diakses dari www.leonidzhukov.net/hse/2015/networks/lectures/lecture17.pdf tanggal 12 Mei 2016.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Ayu Noer Annisa dan mempunyai nama panggilan Ayu. Sebagai mahasiswa Teknik Lingkungan ITS 2012-2016, penulis juga aktif berorganisasi dan mengembangkan hobinya.

Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP ITS (HMTL) dan Paguyuban Karya Salemba Empat (Paguyuban KSE) Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selain aktif di dalam kepanitian dan pelatihan di dalam maupun di luar kampus, penulis juga

pernah menjadi anggota aktif Paduan Suara Mahasiswa ITS (PSM ITS) selama 1 tahun dan anggota aktif tari Samanizer TL ITS selama 2 tahun. Hobi lain penulis adalah membuat tulisan di blog pribadinya. Penulis sangat terbuka bila ada pertanyaan dan hal yang ingin didiskusikan. Penulis dapat dihubungi melalui email di alamat ayunoerss@gmail.com.