

**KAJIAN OPTIMALISASI DISTRIBUSI JARINGAN AIR BERSIH
(STUDI KASUS PDAM DELTA TIRTA SIDOARJO UNIT IPA KRIAN)
*Study on Water Distribution Network Optimization
(A Case Study in the Sidoarjo Drinking Water Company of the Subdistric of Krian)***

Ratnanik*, Radiana Triatmadja, Budi Kamulyan****

***Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Widya Dharma**

****Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada**

Email: ratnanik.wa@unwidha.ac.id, radianta@ugm.ac.id, budi.kamulyan@ugm.ac.id

Abstrak

Hasil simulasi WaterNet jaringan eksisting dengan aliran berubah diketahui bahwa kinerja sistem jaringan tidak optimal yaitu masih terdapat aliran laminar pada pipa sebanyak 26 pipa dan sisa tekanan pada simpul pelayanan rendah yaitu 9,88 mH₂O, seperti pada lokasi desa Sirapan, Kemangsen dan Jagalan. Optimalisasi jaringan eksisting dilakukan dengan metode memperbesar pipa yang berdiameter kecil dari node sub Jagalan ke node pelanggan, dan membangun tangki baru serta menaikkan elevasi tangki pada daerah pelayanan Perumtas III dimana pompa 2(dua) beroperasi. Pompa 2 yang beroperasi pada daerah pelayanan Perumtas III diatur debit dan headnya sesuai dengan daya tampung tangki baru. Setelah diadakan optimalisasi hasilnya lebih baik apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting karena adanya penghematan operasional pompa rata-rata selama 14 jam dibanding dengan kondisi eksisting waktu operasional pompa 24 jam. Tekanan sisa pada node setelah optimalisasi menjadi lebih baik karena terjadi peningkatan tekanan di semua node meskipun sedikit yaitu 11.53 mH₂O.

Kata kunci : Eksisting, Jaringan distribusi, Optimalisasi jaringan

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan pada suatu daerah sering membawa dampak, baik dari nilai positif maupun nilai negatif. Pemekaran di beberapa bagian wilayah kabupaten/kota menuntut disediakannya infrastruktur yang memadai guna mendukung kegiatan di wilayah tersebut, termasuk salah satunya adalah penyediaan sarana dan prasarana untuk pelayanan air bersih. Pemenuhan kebutuhan air bersih dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain salah satunya dengan menggunakan sistem perpipaan yang biasa dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Tingkat pelayanan air bersih di kecamatan Krian masih sangat rendah yaitu baru mencapai 36% menggunakan instalasi jaringan perpipaan dengan aliran air yang kecil bahkan terkadang tidak mengalir. Kondisi yang seperti itu menyebabkan sebagian besar penduduk kecamatan Krian (64%) lebih memilih menggunakan sumur dangkal (3 - 15 m) dengan kualitas air yang kurang memadai terutama musim hujan, sementara masyarakat sangat mengharapkan untuk mendapatkan kualitas dan kuantitas air bersih yang baik dengan mudah.

Untuk mengantisipasi hal tersebut maka perlu dikaji sistem pendistribusian ke pelanggan dengan melakukan kajian tentang optimalisasi jaringan distribusi air bersih PDAM kecamatan Krian.

TINJAUAN PUSTAKA

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan perusahaan milik Pemerintah Daerah dan satu-satunya Perusahaan yang mengelola air minum yang dimiliki pemerintah, seperti disebutkan dalam surat keputusan bersama Menteri Dalam Negeri dan Menteri Pekerjaan Umum nomor 5 tahun 1985;

28/KPTS/1984. Tugas pokok PDAM adalah menyelenggarakan pengolahan air minum. Dalam penyediaan air bersih tersebut dilakukan dengan menggunakan saluran tertutup atau jaringan perpipaan. Untuk itu diperlukan dengan teliti agar dapat bekerja efisien dan optimal.

Sistem distribusi pada jaringan air bersih menggunakan saluran tertutup atau dengan pipa agar tidak terjadi kontaminasi terhadap air yang mengalir di dalamnya. Sistem perpipaan digunakan dalam distribusi air agar air lebih mudah mengalir karena di dalamnya terdapat tekanan air.

Sistem jaringan distribusi sangat perlu direncanakan dengan teliti agar sistem jaringan tersebut dapat bekerja secara efisien dan optimal. Menurut Triatmadja (2007) kesalahan dalam merencanakan jaringan distribusi air bersih dapat berakibat fatal, misalnya sebagai berikut:

1. Pada waktu tertentu sebagian daerah memperoleh air sedikit sedangkan daerah lain tidak memperoleh air sama sekali,
2. Pada suatu lokasi air terus mengalir melalui pipa yang pecah karena tidak kuat terhadap tekanan air di dalamnya,
3. Pompa bekerja tidak efisien karena kesalahan perencanaan sehingga biaya operasional tinggi,
4. Pada saat perbaikan, suatu daerah tidak mendapat suplai air,
5. Sulit dikembangkan karena pemilihan pipa yang tidak tepat,
6. Tangki dan pompa terlalu kecil sehingga bekerja tidak efisien,
7. Kebocoran tidak terdeteksi.

Kebutuhan air untuk suatu Kota adalah besarnya air yang dibutuhkan untuk memenuhi komponen yang ada di Kota tersebut (industri, hotel, perdagangan, rumah tangga dan lain-lain), ditambah kebocoran air akibat kebocoran pipa.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan air adalah tersebut di bawah (Linsley dalam Benu, 2006):

1. Iklim

Kebutuhan air untuk mandi, menyiram Taman, pengaturan udara dan sebagainya lebih besar pada iklim yang hangat dan kering dari pada di iklim yang lembab.

2. Ciri-ciri penduduk

Pemakaian air dipengaruhi oleh status ekonomi dari para langganan. Pemakaian per kapita di daerah-daerah miskin jauh lebih rendah dari pada di daerah-daerah kaya.

3. Masalah lingkungan hidup

Meningkatnya perhatian masyarakat terhadap berlebihannya pemakaian sumber daya telah menyebabkan berkembangnya alat-alat yang dipergunakan untuk mengurangi jumlah pemakaian air di daerah pemukiman.

4. Industri dan perdagangan

Mesin-mesin pabrik seringkali membutuhkan jumlah air yang besar. Jumlah yang sebenarnya tergantung pada besarnya pabrik dan jenis industrinya.

5. Iuran dan meteran air

Bila harga air mahal, orang dapat lebih menahan diri dalam pemakaian air dan industri mungkin mengembangkan persediaannya sendiri dengan biaya yang lebih murah. Para langganan yang jatah

air diukur dengan meteran dapat cenderung untuk memperbaiki kebocoran-kebocoran dan mempergunakan air dengan jarang.

6. Ukuran kota

Penggunaan air perkapita pada kelompok masyarakat yang mempunyai jaringan limbah cenderung lebih tinggi di kota-kota besar dari pada Kota kecil.

7. Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air tidak selalu tetap, tetapi berfluktuasi pada jam-jam tertentu. Fluktuasi kebutuhan air di suatu wilayah ditentukan oleh jumlah penduduk yang memakai air, faktor setempat, dan kondisi dari penyediaan air itu sendiri.

Menurut Triatmadja (2007) kriteria optimal dalam jaringan pipa sangat berhubungan dengan ekonomi dan teknis. Kriteria optimal dibatasi pada beberapa hal yang secara langsung berkaitan dengan proses distribusi dan hidraulika yang dianggap tercapai, apabila:

1. Tinggi tekanan di setiap titik mendekati (lebih besar) dari yang diisyaratkan,
2. Pemanfaatan reservoir semaksimal mungkin (mendekati kapasitasnya),
3. Pompa beroperasi pada design discharge nya,
4. Elevasi muka air dalam reservoir pernah mencapai titik terendah dan titik tertinggi

Permasalahan yang sering timbul yaitu elevasi lokasi pelanggan terkadang ketinggiannya berbeda. Menurut Triatmadja (2007) akan sangat menguntungkan apabila lokasi sumber daya air yang rencana didistribusikan terdapat pada bagian yang lebih tinggi dari daerah distribusi. Tetapi ada juga daerah distribusi dengan elevasi yang mungkin lebih tinggi dari lokasi sumber daya air.

Jaringan pipa harus memenuhi persamaan kontinuitas dan tenaga (Triatmodjo, 1993), yaitu:

1. Aliran dalam pipa harus memenuhi hukum gesekan pipa pada aliran tunggal.
2. Aliran masuk samadengan aliran keluar.
3. Jumlah aljabar kehilangan tenaga dalam jaringan tertutup, sama dengan nol.

METODE PENELITIAN

Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Tahap analisa melalui indikator teknis maupun kinerja berdasarkan KepmenDagri Nomor 47 tahun 1999, hal tersebut diantaranya yaitu analisis teknis. Analisis teknis dilaksanakan berdasarkan data sekunder yang telah diperoleh dan dilakukan dengan menggunakan software *WaterNet* versi 2.2 dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Menggambar jaringan pipa eksisting dengan memasukan data pipa, diameter pipa jenis pipa, ketersediaan pipa, kekasaran pipa, kebutuhan tiap Node, fluktuasi kebutuhan, data tangki dan elevasi, dan jika menggunakan pompa untuk pendistribusiannya maka, dikaji juga jenis pompa dan asesoris pendukung lainnya, sehingga aplikasi software *WaterNet* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.
- b. Kemudian untuk mengetahui permasalahan pada jaringan eksisting yang ada secara teknis, diperlukan perhitungan yang lebih detail untuk itu perintah *running* dalam software *WaterNet*, akan memberikan keterangan kepada pengguna, tentang optimalisasi jaringan eksisting yang ada,

sedangkan nilai ekonomisnya dan infestasinya itu diperhitungkan dengan menggunakan dasar pertimbangan dan kriteria optimalisasi jaringan.

- c. Hal terakhir yaitu membuat kesimpulan dan saran dari beberapa alternatif jaringan yang sudah dioptimalkan dengan berbagai pertimbangan yaitu pertimbangan ekonomis dan pertimbangan teknis, yang mengacu pada kriteria atau standar yang berlaku sehingga dapat melayani kebutuhan air bersih masyarakat secara berkesinambungan.

Pemecahan Masalah

Dari hasil analisis teknis dengan *software WaterNet*, dapat diketahui permasalahan yang terjadi pada kondisi eksisting, dan kemudian dengan secepatnya memberikan alternatif pemecahan masalah. Adapun kriteria-kriteria yang ada dalam program/*software WaterNet*, seperti pada *WaterNet* 2.2.diantaranya:

1. Kondisi jaringan eksisting dianggap baik,
2. Kualitas air baku dianggap memenuhi standar kualitas,
3. Kekasaran pipa yang telah disiapkan oleh *WaterNet*.

Kebutuhan air tiap hari dengan menggunakan Hidran Umum (HU) didasarkan pada kebutuhan tiap node dengan layanan dengan tetap. Kebutuhan per orang per hari 60 liter/org/hr, dikalikan dengan jumlah pelanggan. Dan untuk Sambungan Rumah (SR), kebutuhan 150 liter/org/hr, dengan asumsi 1 rumah 5 jiwa/org.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Dengan memperhatikan kondisi jaringan pipa eksisting dan hasil simulasi di atas dapatlah diambil kesimpulan dari permasalahan yang terdapat pada jaringan distribusi pipa PDAM Delta Tirta Sidoarjo Unit IPA Krian I, khususnya Kecamatan Krian yaitu sebagai berikut:

1. Simulasi dengan cara tanpa perlakuan maupun dengan perlakuan sesuai kondisi eksisting menunjukkan bahwa pompa pada wilayah pelayanan Krian kurang efisien karena di saat jam puncak air tidak lagi dapat mengalir ke wilayah distribusi dengan baik. Hasil simulasi menunjukkan banyaknya node yang tekanan sisa di bawah 10 meter H₂O. Kondisi ini samadengan kondisi di lapangan sehingga wilayah-wilayah distribusi terkadang harus menampung air pada saat jam-jam tertentu agar dapat menikmati air bersih.
2. Kapasitas daya tampung air di tangki tidak efisien karena kebutuhan banyak daya tampung kecil, perlu diperbaiki. Agar air dapat terdistribusi maka sistem pompa diubah menjadi sistem gravitasi dengan membuat tangki baru pada wilayah pelayanan Perumtas III.
3. Terdapat beberapa pipa yang mengalami aliran laminar, akibat dari tumpang tindihnya diameter pipa pada satu ruas jaringan.
4. Tingkat kehilangan air cukup besar mencapai angka 40% dari total kebutuhan pelanggan.

Masalah tersebut perlu dilakukan penanganan agar dicapai hasil yang lebih optimal sehingga jaringan distribusi dapat dioperasikan menjadi lebih baik lagi.

Optimalisasi Sistem Jaringan Eksisting

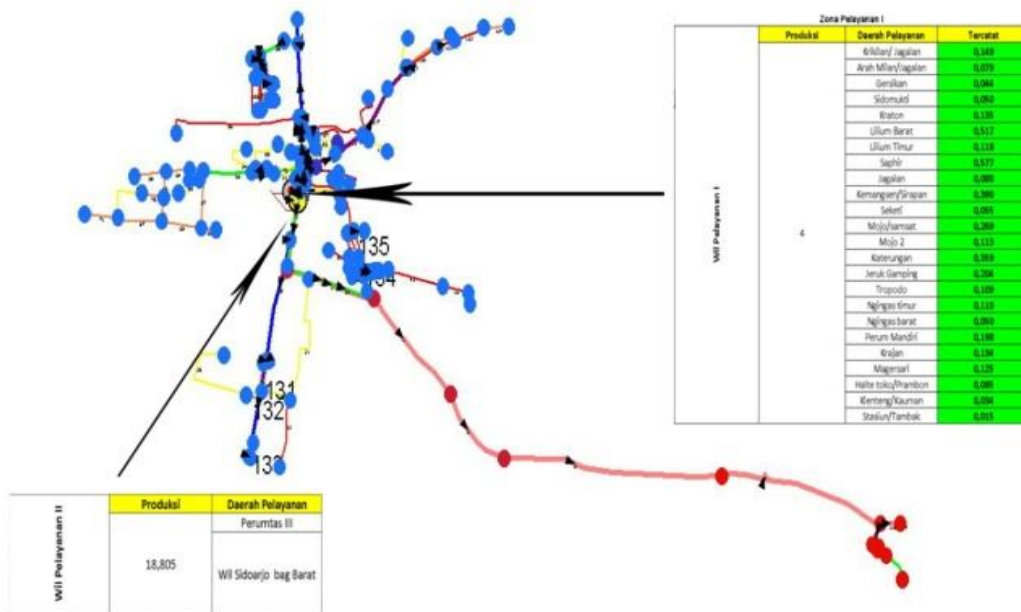
Untuk meningkatkan kinerja sistem jaringan distribusi air bersih pada PDAM Delta Tirta Sidoarjo Unit IPA Krian I sepanjang umur layanan diperlukan langkah optimalisasi. Hal tersebut dilakukan karena di lapangan dan hasil simulasi kondisi eksisting sistem jaringan distribusi ditemukan adanya sistem distribusi air yang tidak efisien, dugaan sementara permasalahan tersebut akibat dari diameter pipa distribusi yang terlalu kecil.

Kajian Teknik dan Ekonomi Sistem Jaringan Air Bersih di Kecamatan Krian tahun 2020

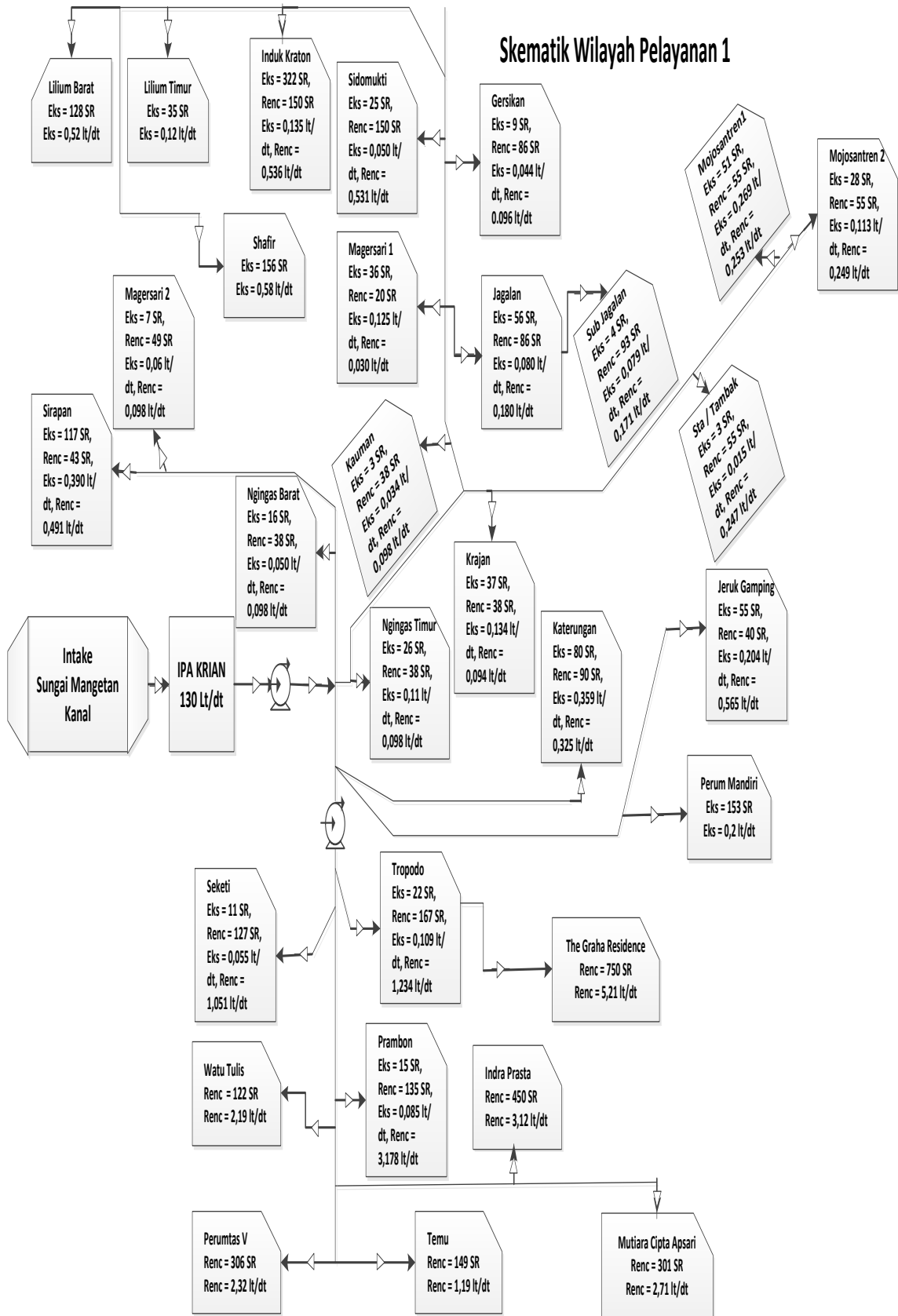
Dalam rangka meningkatkan pelayanan air bersih kepada masyarakat maka sebelum mengembangkan sistem jaringan pipa air bersih perlu dilakukan analisis teknis. Tujuan analisis teknik adalah untuk mengetahui apakah sistem jaringan distribusi air bersih yang direncanakan secara teknis layak untuk dikembangkan atau tidak. Analisis teknis tersebut membahas perlakuan yang sudah dilakukan dalam simulasi *software WaterNet* versi 2.2.

Perlakuan tersebut yaitu dengan menambah dan menggantikan beberapa pipa lama, serta pemasangan pipa baru untuk menyuplai air di wilayah-wilayah pelayanan yang dalam simulasi diketahui tekanan sisanya kurang dari 10 mH₂O. Untuk wilayah/ desa pengembangan dipasang pipa baru, jadi pipa yang terpasang saat pengembangan sudah jauh berbeda dengan pipa pada saat simulasi kondisi *eksisting*.

Untuk memudahkan simulasi dan pelaksanaan di lapangan maka pelayanan air ke pelanggan dibagi menjadi 2 (dua) daerah layanan dengan kebutuhan yang berbeda-beda. Daerah layanan I (satu) kebutuhan air 30,280 lt/dt dari total pelanggan 4.945 (SR) yang terdiri dari 14 (empat belas) desa dengan 30 *meter zoning* (Node). Daerah pelayanan 2 (dua) kebutuhan airnya sebesar 61,812 lt/dt dengan total pelanggan 7.150 (SR) dari 4 (empat) desa dengan 5 meter zoning (Node) ditambah dengan wilayah Sidoarjo. Agar lebih jelasnya pembagian daerah layanan sistem jaringan air bersih pada tahun 2020 dapat dilihat pada skematik wilayah pelayanan di bawah ini.

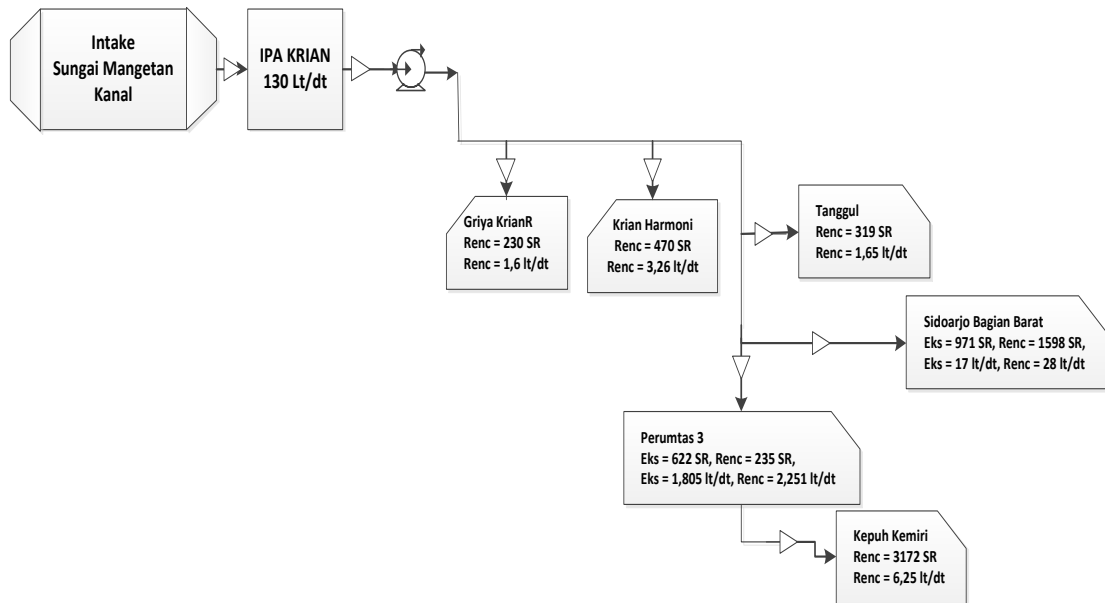


Gambar 1. Pembagian Wilayah Pelayanan pada Pengembangan Jaringan 2020

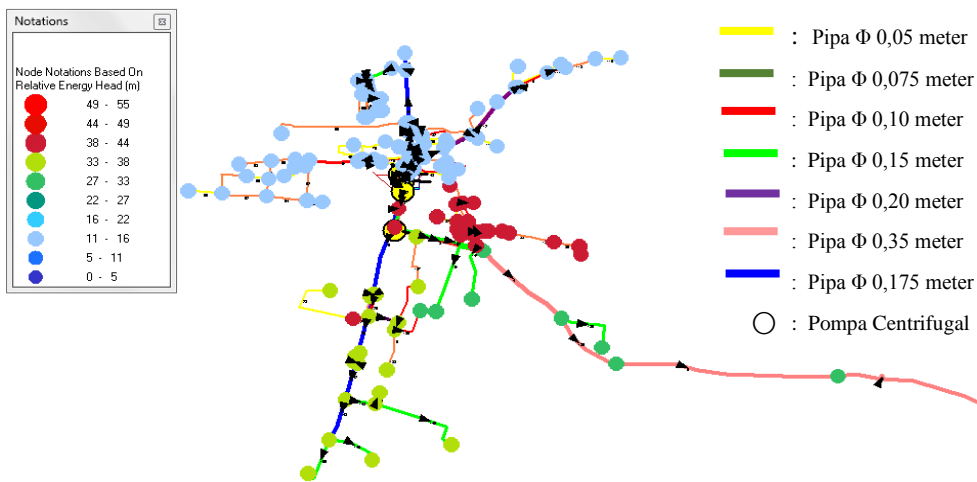


Gambar 2. Skematik Pengembangan Wilayah Pelayanan 1

Skematik Wilayah Pelayanan 2

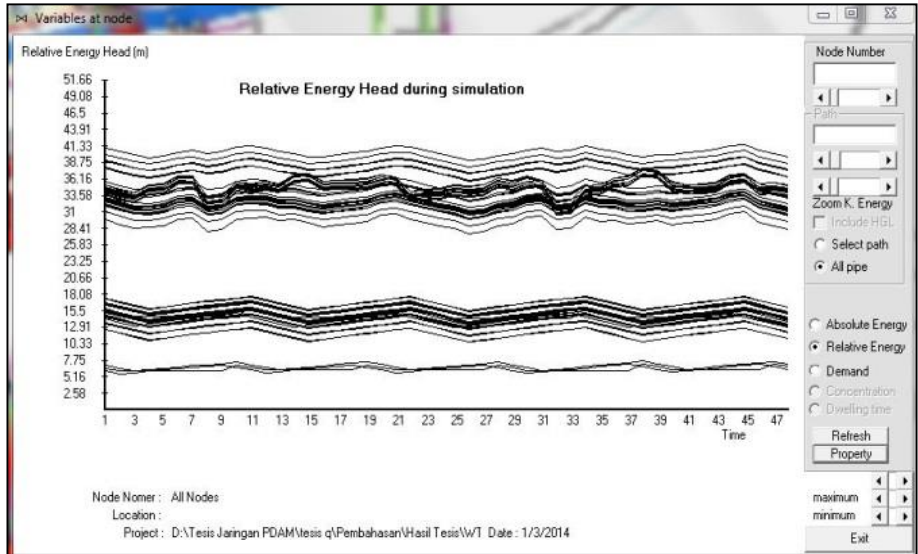


Gambar 3. Skematik Pengembangan Wilayah Pelayanan 2



Gambar 4. Pergantian Pipa saat Pengembangan Jaringan tahun 2020

Pipa yang digunakan adalah pipa yang sudah diuji dalam *software WaterNet*, diantaranya pipa dengan diameter 0.05 meter sampai diameter 0.35 meter. Pipa-pipa tersebut disesuaikan dengan sistem jaringan yang ada dalam simulasi, seperti dapat dilihat pada Gambar 4. Pipa-pipa yang terpasang sangat efisien dimana pipa dalam jaringan mampu mempertahankan tekanan sisa di ujung pipa atau node-node kebutuhan. Tekanan yang tertinggi berkisar antara 56,25 meter H₂O dan yang terendah kurang dari 10 meter H₂O, dimana tekanan tertinggi yang terjadi dalam jaringan tidak membahayakan karena masih dalam batasan yang normal. Pipa yang digunakan dalam pengembangan sistem jaringan tersebut berjenis ACP, GIP dan PVC, pipa berjenis ACP, GIP dan PVC mampu menahan tekanan sampai dengan 100 meter H₂O.

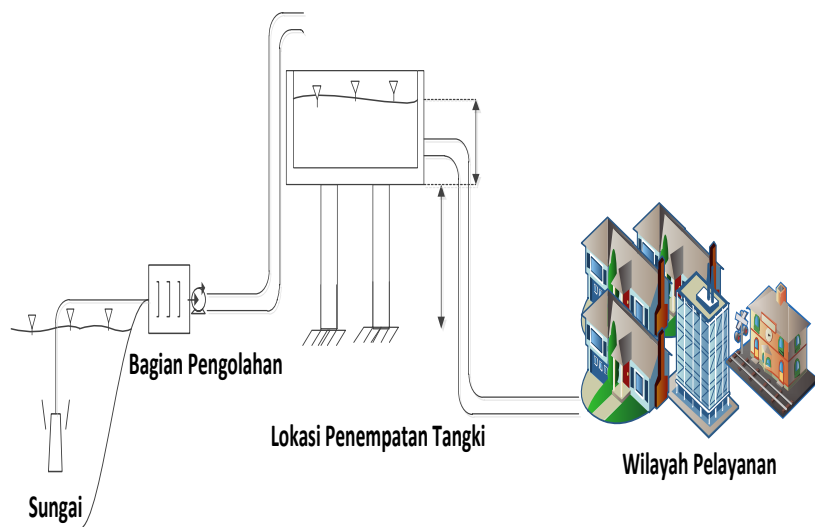


Gambar 5. Menggambar kondisi tekanan di semua node

Hasil simulasi diketahui ada node yang bertekanan sisa di bawah 10 mH₂O, yakni di node untuk perletakan pompa dan tangki. Akan tetapi tekanan tersebut bukan pada node yang mempunyai nilai kebutuhan sehingga simulasi masih tetap dianggap baik.

Penggunaan tangki dalam simulasi dibagi berdasarkan daerah layanan tangki. Daerah layanan 1 (satu) tangki tidak ada perubahan, sama seperti kondisi eksisting dikarenakan kondisi tangki eksisting dibangun berdasarkan kebutuhan 10 tahun ke depan. Daerah layanan 2 (dua) tangkinya dibangun baru dengan total kapasitas tampungannya 525 m² serta dibangun dengan ketinggian 5 meter di atas permukaan tanah. Pemilihan tangki di tempat yang cukup tinggi dimaksudkan agar dalam mendistribusikan air ke pelanggan dapat mengalir dengan baik dengan menggunakan sistem gravitasi.

Berikut gambar ilustrasi penempatan tangki saat simulasi pengembangan jaringan di tahun 2020.



Gambar 6. Ilustrasi Penempatan Tangki saat Simulasi

Hasil simulasi dengan kondisi tangki seperti di atas sangat memungkinkan air dapat terdistribusi merata ke semua node (wilayah pengambilan).

Hasil simulasi juga menunjukkan air dalam tangki tidak perlu meluap ataupun terkuras habis. Hal tersebut bisa terjadi karena pompa yang mendistribusikan air dari sumber ke tangki dibuat bersyarat. Kondisi tangki yang tidak pernah meluap saat simulasi dapat kita lihat pada gambar berikut ini: Pompa yang terpasang sudah diukur head dan produksi airnya. Untuk menyuplai air ke tangki nomor 1 (satu) yang tinggi elevasinya 16 meter dpl, maka head pompa yang sudah teruji adalah 20 meter dan produksi airnya 35 liter/detik. Dengan kapasitas demikian pompa beroperasi hanya 14 jam per hari untuk memenuhi kebutuhan air di tangki nomor 1 (satu). Sedangkan pompa yang menyuplai air di tangki nomor 2 (dua) dengan tinggi elevasi dasar 5 meter di atas permukaan tanah membutuhkan head 35 meter dan debit 50 liter/detik.

Hasil simulasi dan analisis teknis untuk memenuhi kebutuhan air di tahun 2020 dapat disimpulkan adalah berhasil dengan baik. Simulasi tersebut dapat berjalan baik jika diikuti dengan berbagai perlakuan guna tercapai pelayanan yang optimal, diantaranya:

1. Sumber air bersih yang ada di Kecamatan Krian masih mampu untuk menyuplai kebutuhan air pelanggan sampai dengan tahun 2020. Sumber air itu yaitu Sungai Mangetan Kanal.
2. Mengganti beberapa pipa yang dianggap kurang besar diameter 0.05 meter menjadi 0.075 meter, kemudian menyesuaikan pipa-pipa distribusi yang lain dengan diameter mulai dari 0.075 meter sampai diameter 0.4 meter.
3. Pompa yang digunakan sesuai dengan head dan debit yaitu untuk daerah layanan 1 pompa yang digunakan adalah 2 pompa berjenis centrifugal dengan head dan debit ke dua pompa tersebut sama yaitu head 20 meter dan debit 35 liter/detik sedangkan pada daerah layanan 2 (dua) terdapat dua pompa juga dengan head dan kapasitas yang sama yaitu head 35 meter dengan debit 50 liter/detik, sudah efisien dan optimal karena air dapat mengalir ke pelanggan dengan baik.
4. Sistem distribusi menggunakan sistem gravitasi. Air dari sumber dipompa menuju tangki kemudian dari tangki didistribusikan ke pelanggan.

Nilai BCR dan NPV untuk Suku Bunga 9.5 %

Dengan prediksi pendapatan penjualan air dan biaya investasi – operasional tahun 2009 sampai tahun 2020, maka dapat dilihat bahwa peningkatan biaya operasional lebih kecil dari pendapatan PDAM dari penjualan air bersih ke pelanggan. Jika dihubungkan dengan investasi tahun 2009 sampai 2012 diperoleh nilai $BCR = 1.429 > 1$ dan $NPV = Rp 19,231,947,200 > 0$ (lampiran 4 Dari nilai BCR dan NPV di atas terlihat bahwa investasi pembangunan menara air bersih di kecamatan Krian tahun 2013 menguntungkan sehingga investasi tersebut layak (feasible) untuk dilaksanakan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil evaluasi sistem jaringan distribusi air bersih pada kondisi eksisting tidak optimal. Informasi tersebut dapat dilihat dari hasil *running WaterNet* yang menunjukkan banyaknya node mempunyai tekanan yang kurang dari 10 meter H₂O. Dalam rangka perbaikan/ optimalisasi kinerja sistem jaringan

eksisting maka perlu perbaikan jaringan. Dipilih hasil simulasi alternatif 3. Hal yang dilakukan dengan membuat tangki air pada jaringan yang menyuplai air ke wilayah Perumtas 3, serta menurunkan head dan kapasitas dari pompa tersebut menjadi 35 meter dan debitnya 60 liter/ detik. Tangki dibangun pada ketinggian 5 meter di atas permukaan tanah dengan luas area 525 m² dan tinggi tangki 3 meter. Pengembangan sistem jaringan pada PDAM Delta Tirta Sidoarjo Unit IPA Krian I direncanakan sampai tahun 2020, dilakukan dengan memanfaatkan dan memaksimalkan sumber-sumber air bersih yang ada di Kecamatan Krian. Sistem distribusi air ke pelanggan di bagi menjadi 2 (dua) daerah pelayanan dengan dasar pertimbangan ketersediaan air serta proyeksi pertumbuhan penduduk serta kebijakan pemerintah daerah dalam Rencana Sistem Pengolahan Air Minum PDAM Delta Tirta Sidoarjo.

Saran

Perlu dilakukan penelitian yang lebih dalam tentang kajian ekonomi untuk mengetahui nilai investasi serta keuntungan dari pembangunan jaringan distribusi air bersih di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1998, Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 7 Tahun 1998, "Kepengurusan Perusahaan Daerah Air Minum".

Anonim, 2004, Undang-Undang No. 7 Tahun 2004, "Sumber Daya Air", (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 32, Tambahan lembaran Negara Republik Indonesia 4377)

Anonim, 2005, Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2005, "Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum", (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2005 Nomor 33)

Anonim, 2007, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.

Benu, J E P, 2006, "**Kajian Sistem Jaringan Pipa Untuk Optimalisasi Pengelolaannya (Studi kasus) PDAM Kecamatan Kualin Kabupaten Timor Tengah Selatan**", Tesis, MPSP Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.

Darmi, 2004. "**Kajian Jaringan Pengembangan Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Meulaboh**", Tesis MPSA Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Faldy, R, 2013, "**Evaluasi Dan Strategi Pengembangan Sistem Distribusi Air Bersih Kabupaten Halmahera Barat (Studi Kasus) PDAM Halmahera Barat**", Tesis, MPSP Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.

Linsley, R K., dan Franzini, J, B., 1986, "**Teknik Sumber Daya Air**", Erlangga, Jakarta.

Triatmadja, R, 2007, "Manual WaterNet Versi 2.2", Nafiri Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, B, 1993, "Hidrolika 1 dan 2", Beta Offset, Yogyakarta.