

Evaluasi Rencana Sistem Penyediaan Air Baku Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara

Aprilia Putri Kurniawan^{1*}, Istiarto¹, Bambang Agus Kironoto¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: apriliputri@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Pelaksanaan SPAM eksisting di Tanjung Selor mengalami beberapa permasalahan teknis seperti ketidaksesuaian jenis pompa, dimensi pipa yang tidak mencukupi, kerusakan pipa layanan, dan tekanan air di area layanan tidak memenuhi standar. Jaringan eksisting tersedia di wilayah Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung namun belum dimanfaatkan sepenuhnya. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi kinerja rencana SPAM Tanjung Selor dengan fokus di wilayah tersebut. Evaluasi SPAM menggunakan bantuan *software* EPANET 2.2 dengan *demand driven approach* terhadap kriteria kecepatan aliran dalam pipa dan tekanan air di area layanan sesuai Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2016. Hasil evaluasi menunjukkan tekanan negatif terjadi di satu titik layanan Apung dan empat titik layanan di Kota Baru Mandiri. Tekanan negatif di Kota Baru Mandiri disebabkan perbedaan besar antara elevasi reservoir dan area. Tekanan dibawah standar terjadi di dua titik pelayanan Bumi Rahayu. Kecepatan aliran dibawah standar ditemukan di pipa transmisi Bumi Rahayu. Kecepatan aliran di zona distribusi Kota Baru Mandiri telah memenuhi kriteria. Rekomendasi perubahan elevasi reservoir dan dimensi pipa diberikan di area yang mengalami tekanan dan kecepatan di bawah standar. Sedangkan, rekomendasi penambahan pompa diberikan di zona distribusi Kota Baru Mandiri. Rekomendasi dapat memastikan jaringan distribusi beroperasi secara gravitasi, kecuali di satu area layanan tertinggi.

Kata kunci: SPAM Tanjung Selor, EPANET 2.2, evaluasi, rekomendasi.

1 PENDAHULUAN

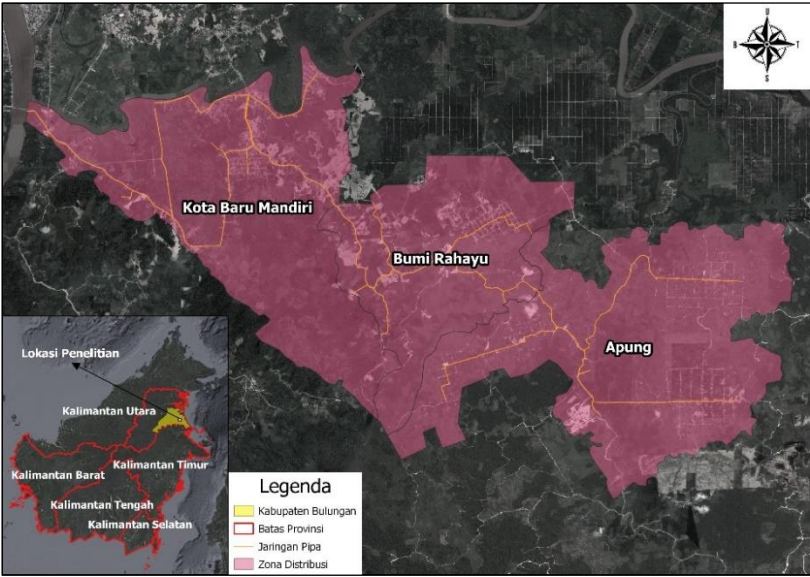
Sistem penyediaan air minum (SPAM) yang ada di Kabupaten Bulungan melayani Kecamatan Tanjung Selor dan Kecamatan Tanjung Palas. PDAM Kabupaten Bulungan mengelola SPAM melalui Unit Tanjung Selor, Unit Jelerai, dan Unit Bumi Rahayu. Dinas PUTR Kabupaten Bulungan mengelola SPAM Desa (SPAMDES) melalui SPAM KM-12 di Desa Apung. SPAM yang ada menggunakan air dari Sungai Kayan sebagai sumber utama, sedangkan SPAMDES Apung memanfaatkan air dari Sungai Mangkubuah. SPAM yang ada saat ini memiliki beberapa permasalahan teknis, antara lain jenis pompa yang tidak sesuai, ukuran pipa yang tidak memadai, pipa layanan yang rusak, dan tekanan air yang rendah di area layanan. Permasalahan ini menegaskan perlunya pengembangan SPAM dengan mengoptimalkan sistem penyediaan air eksisting dan mengembangkan jaringan interkoneksi antar SPAM. Di wilayah Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Desa Apung, terdapat pipa transmisi yang menghubungkan intake ke instalasi pengolahan air (WTP). Namun, penggunaannya masih terbatas. Saat ini, Desa Apung masih menggunakan jaringan penyediaan air secara komunal.

Pada Mei 2025, pipa yang ada di zona distribusi Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung hanya mencakup pipa transmisi dari intake menuju WTP. Pembangunan reservoir, jaringan pipa transmisi dari WTP menuju reservoir, serta pipa distribusi dan layanan akan dilakukan bertahap mulai dari tahun 2024 sampai 2043. Studi ini akan melakukan evaluasi terhadap kinerja rencana pengembangan jaringan SPAM Tanjung Selor di tiga zona distribusi tersebut sesuai dengan Peraturan Menteri PUPR Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Pengembangan SPAM. Parameter evaluasi meliputi kecepatan aliran dalam pipa dan tekanan di wilayah pelayanan. Jika kecepatan aliran terlalu rendah, sedimentasi dapat terjadi di dalam pipa. Sebaliknya, kecepatan yang terlalu tinggi dapat merusak dinding pipa. Tekanan kemampuan penyaluran ke pelanggan sesuai dengan kebutuhan. Efektivitas penggunaan pompa dan pipa sepanjang jaringan penyediaan air baku juga diidentifikasi dalam evaluasi ini. Evaluasi ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan jaringan pada masa yang akan datang. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemodelan sistem air baku sebagai bahan kajian kinerja jaringan dalam memenuhi kebutuhan air baku untuk menjaga kelangsungan pengembangan sistem penyediaan air baku Tanjung Selor.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di zona distribusi Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung dalam rencana pengembangan SPAM Tanjung Selor di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.



Gambar 2.1. Lokasi penelitian (Google Earth, 2025).

2.2 Parameter Penelitian

Penelitian ini mengkaji kinerja rencana sistem penyediaan air baku Tanjung Selor di zona distribusi Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung. Tekanan dan kecepatan aliran dalam pipa dievaluasi di unit transmisi dan distribusi. Kriteria perencanaan tercantum dalam Peraturan Menteri PUPR Nomor 27/PRT/M/2016. Apabila kriteria tidak dipenuhi, *remodeling* dilakukan dengan mengganti atau menambah infrastruktur pendukung dengan tetap mengikuti persamaan hidraulika yang berlaku.

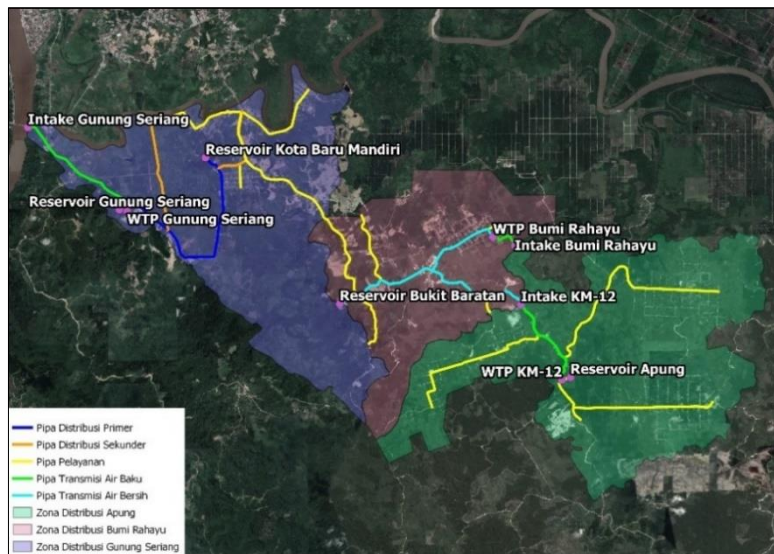
Tabel 2.1. Kriteria evaluasi sistem penyediaan air baku berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2016.

Kriteria	Unit Transmisi	Unit Distribusi
Kecepatan aliran air dalam pipa		
a) Kecepatan minimum	0,3–0,6 m/s	0,3–0,6 m/s
b) Kecepatan maksimum	3–4,5 m/s	3–4,5 m/s
Tekanan air dalam pipa		
a) Tekanan minimum	1 atm (10 m)	0,5–1 atm (5–10 m) pada titik jangkauan pelayanan terjauh
b) Tekanan maksimum	6–8 atm (60–80 m)	6–8 atm (60–80 m)

2.3 Konsep Rencana Pengembangan Sistem Penyediaan Air Baku Tanjung Selor

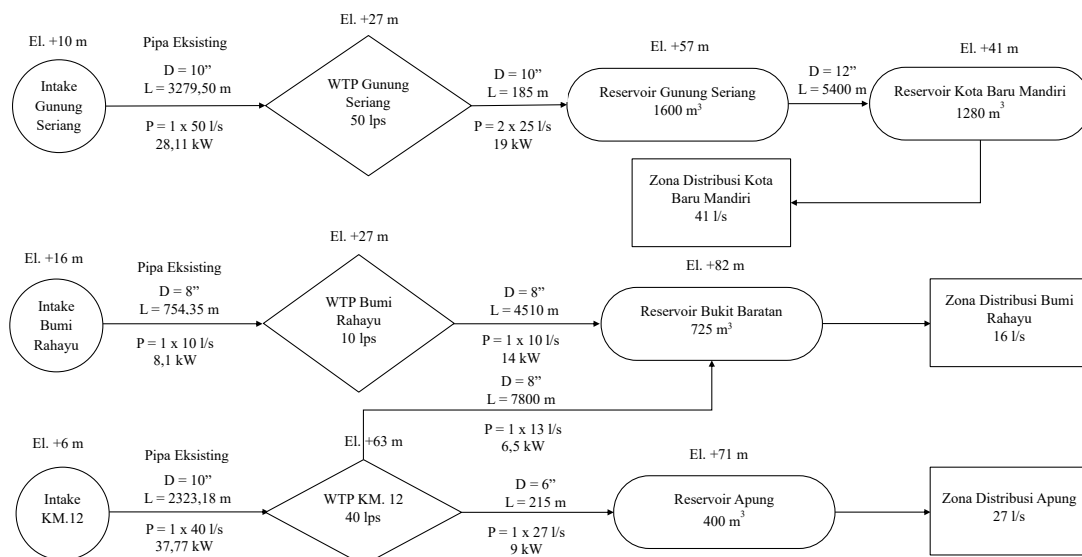
Pengembangan SPAM Tanjung Selor terbagi dalam empat tahap. Ketiga zona dalam fokus penelitian ini menjadi bagian pengembangan sistem SPAM Tanjung Selor. Tahap I, tahap jangka pendek, dilaksanakan mulai tahun 2024 sampai 2026. Pada tahap ini, kegiatan konstruksi berfokus pada pengembangan zona distribusi Kota Baru Mandiri. Jaringan pipa distribusi primer, pipa layanan, dan pipa transmisi WTP–Reservoir Gunung Seriang dan instalasi pompa pendukung mulai dibangun. Selain itu, operasi pipa transmisi intake Gunung Seriang–WTP Gunung Seriang diharapkan telah beroperasi. Konstruksi tahap II direncanakan mulai pada tahun 2029–2033. Pada tahap ini, pembangunan lanjutan di zona distribusi Kota Baru Mandiri meliputi, konstruksi Reservoir Kota Baru Mandiri, jaringan pipa distribusi sekunder, dan beberapa pipa pelayanan yang belum terbangun pada tahap I. Konstruksi tahap III pada tahun 2034–2038 merupakan kegiatan optimalisasi jaringan eksisting SPAM Tanjung Selor. Jaringan

eksisting ini berada di luar zona distribusi penelitian ini. Konstruksi tahap IV pada tahun 2039–2043 berfokus pada pengembangan jaringan interkoneksi zona distribusi Bumi Rahayu dan Apung. Pembangunan Reservoir Bukit Baratan, Reservoir Apung, jaringan pipa distribusi primer, serta pipa layanan diharapkan dapat selesai pada tahap ini. Secara menyeluruh, zona ini akhirnya akan diintegrasikan dengan SPAM Tanjung Selor.



Gambar 2.2. Rencana SPAM di zona distribusi Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung.

Tahap awal pengolahan air melibatkan pengambilan air sebesar 50 l/s dari Sungai Kayan melalui pipa eksisting menuju WTP Gunung Seriang di elevasi +27 m. Air kemudian dialirkan menuju Reservoir Gunung Seriang dengan kapasitas 1.600 m³ di elevasi +57 m. Air dari Reservoir Gunung Seriang kemudian dialirkan menuju Reservoir Kota Baru Mandiri di elevasi +41 m. Reservoir Kota Baru Mandiri melayani lima titik pelayanan yang dengan total kebutuhan air sebesar 41 l/s. Sementara, air dari Anak Sungai Mangkubuah di elevasi +6 m dipompa dengan pengambilan sebesar 40 l/s menuju WTP KM.12 di ketinggian +63 m. Air akan ditampung sementara di Reservoir Apung berkapasitas 400 m³ sebelum disalurkan menuju empat titik layanan di zona distribusi Apung. Sistem transmisi di zona Apung terhubung dengan zona distribusi Bumi Rahayu melalui pipa transmisi dari WTP KM.12 ke Reservoir Bukit Baratan yang memiliki kapasitas sebesar 725 m³. Selain mendapat pasokan tambahan dari WTP KM.12, Reservoir Bukit Baratan juga menerima pasokan utama dari WTP Bumi Rahayu di elevasi +27 m. Reservoir Bukit Baratan melayani lima titik layanan di area Bumi Rahayu. Material pipa eksisting adalah *galvanized iron* sedangkan untuk pipa rencana menggunakan kombinasi pipa HDPE dan pipa PVC.



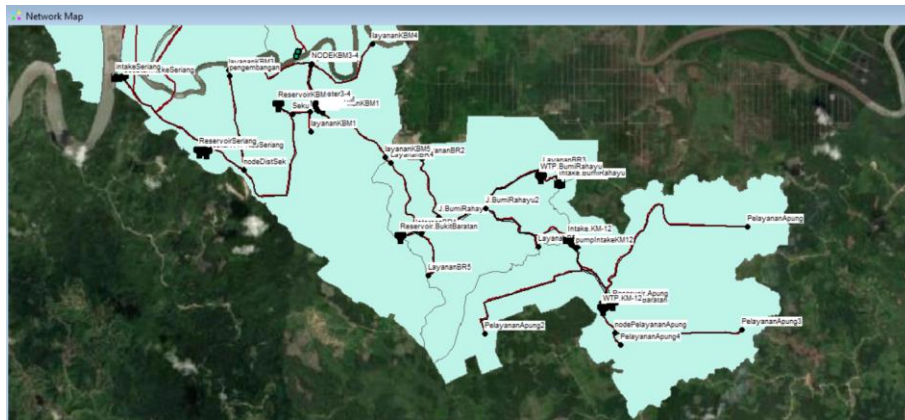
Gambar 2.3 Skema rencana penyediaan air baku Tanjung Selor di zona distribusi Kota Baru Mandiri, Bumi Rahayu, dan Apung.

2.4 Pemodelan SPAM dengan EPANET 2.2

Pemodelan SPAM Tanjung Selor dilakukan menggunakan EPANET 2.2 dengan menginterpretasikan skema jaringan ke dalam bentuk atribut pemodelan, antara lain, *reservoir*, *tank*, *node (junction)*, *link*, *valve*, dan pompa. Titik layanan dan sambungan pipa dimodelkan dengan atribut *node*. Zona distribusi Kota Baru Mandiri mencakup lima titik layanan dengan penamaan *node* PelayananKBM, PelayananKBM2, PelayananKBM3, PelayananKBM4, dan PelayananKBM5. Lima titik layanan lainnya terletak di zona distribusi Bumi Rahayu dengan *node* yang diidentifikasi sebagai LayananBR, Layanan BR2, LayananBR3, dan LayananBR4. Di zona distribusi Apung, terdapat empat titik layanan yang diwakili oleh *node* PelayananApung, Pelayanan Apung2, PelayananApung3, dan PelayananApung4. Data spasial berupa data DEM yang telah diolah menjadi kontur dengan menggunakan aplikasi QGIS. Jaringan yang dimodelkan terdiri dari unit transmisi, unit produksi, dan unit distribusi namun terbatas sampai di titik pelayanan sebelum Sambungan Rumah (SR). Pengaturan input model adalah sebagai berikut.

1. Data kontur elevasi dan peniruan jaringan.

Elevasi bangunan, titik pertemuan pipa, serta zona layanan bergantung pada peta kontur hasil olahan data DEM dengan perangkat lunak QGIS. Hasil olahan data spasial dan jaringan kemudian dimodelkan dalam EPANET 2.2.



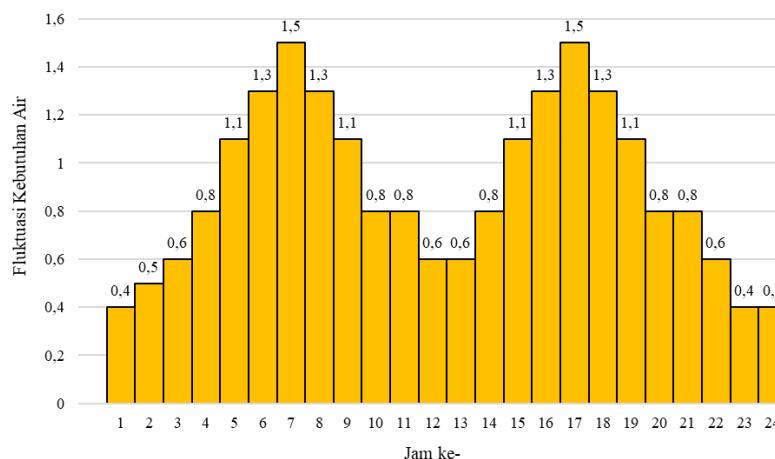
Gambar 2.4 Penggambaran sistem penyediaan air baku Tanjung Selor di EPANET.

2. Konfigurasi analisis hidraulik EPANET.

Debit diatur menggunakan satuan LPS serta persamaan *headloss* adalah berdasarkan persamaan Hazen-Williams.

3. Fluktuasi kebutuhan air.

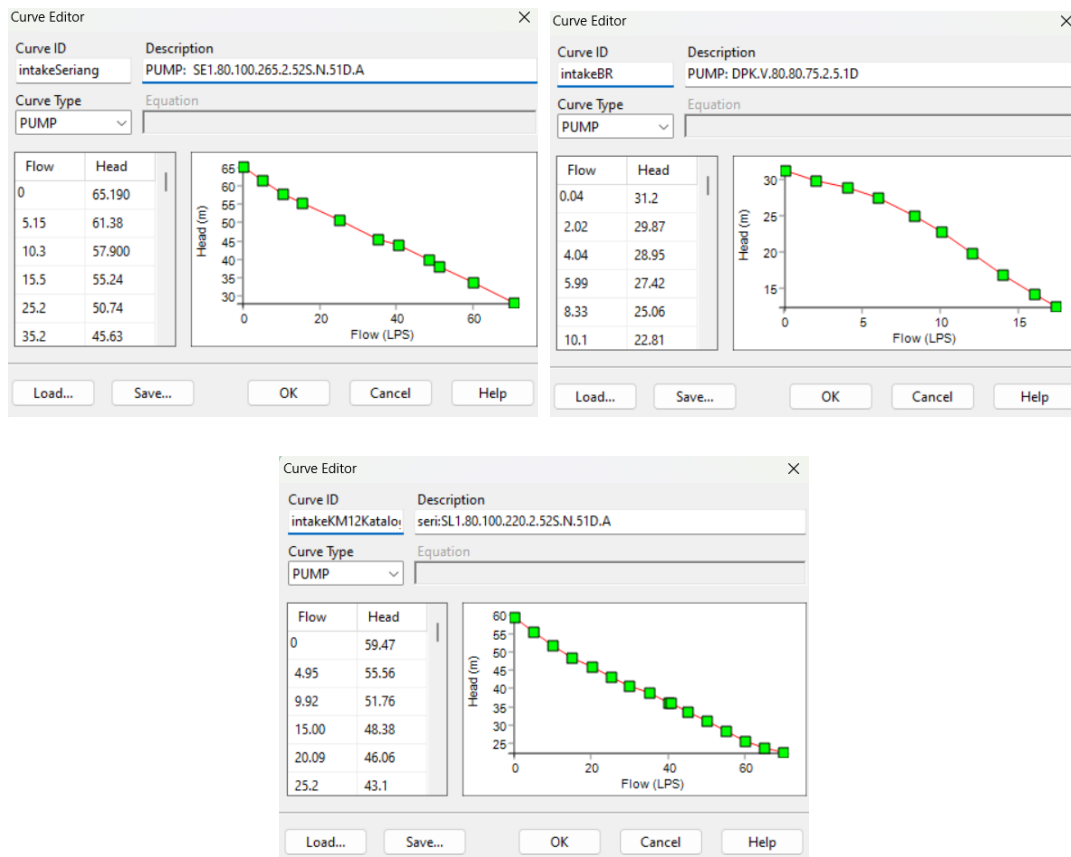
Kebutuhan air per jam di suatu lokasi berubah berdasarkan pola pemakaian pengguna. Fluktuasi kebutuhan air disesuaikan untuk mencerminkan aktivitas konsumen air dengan asumsi bahwa jam puncak terjadi pada jam 7:00 dan 17:00. Faktor fluktuasi kebutuhan air ditentukan berdasarkan Kriteria Direktorat Jendral Cipta Karya Tahun 1996.



Gambar 2.5. Fluktuasi kebutuhan air.

4. Kurva karakteristik pompa.

Kurva karakteristik pompa ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan pompa dengan mempertimbangkan tinggi elevasi dan kehilangan energi yang terjadi selama pengaliran.



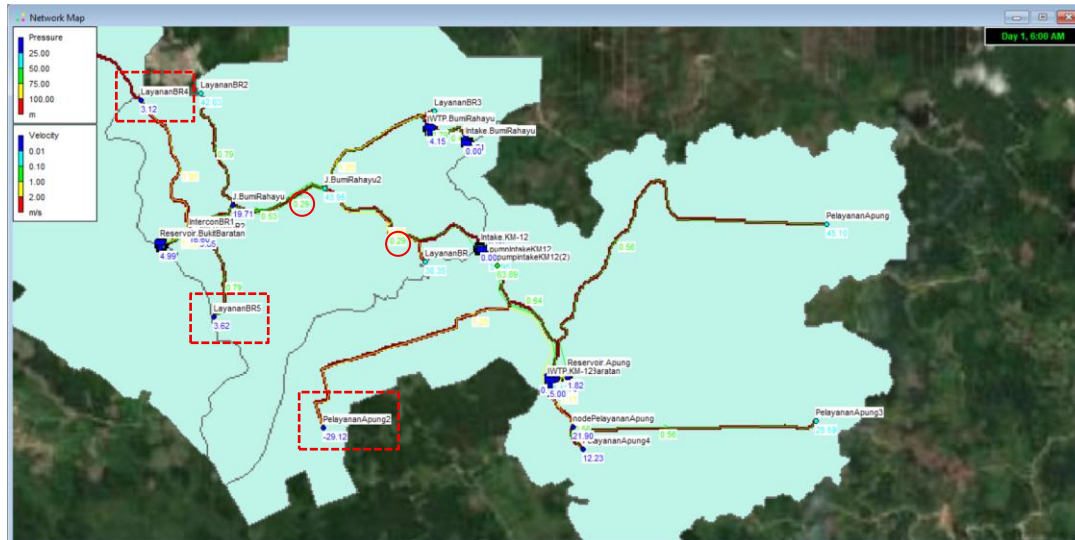
Gambar 2.6 Kurva karakteristik pompa.

Pemodelan awal dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem yang didesain untuk memenuhi kebutuhan air yang bervariasi di area layanan dengan berbagai elevasi. Pemodelan ulang dilakukan dengan memodifikasi model agar sesuai dengan standar desain yang diuraikan dalam Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2016. EPANET menjalankan simulasi numerik menggunakan persamaan hidraulika yang relevan, seperti persamaan kontinuitas dan Persamaan Bernoulli, kehilangan energi, serta garis tekanan yang terjadi dalam suatu aliran air. Evaluasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *demand driven approach* (DDA). Pendekatan ini akan memastikan bahwa debit di titik layanan terpenuhi. Pendekatan ini juga membantu mendeteksi lokasi titik layanan yang mengalami kekurangan tekanan. Apabila terjadi tekanan negatif di titik layanan, beberapa penyesuaian terhadap desain prasarana sistem penyediaan air baku akan dilakukan untuk menaikkan tekanan air sehingga kebutuhan di zona distribusi dapat dipenuhi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan Awal Sistem Penyediaan Air Baku Zona Distribusi Bumi Rahayu dan Apung

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap tekanan di area layanan, tekanan yang tidak sesuai standar ditemukan di 3 dari 9 *node* di kedua zona distribusi. Tekanan negatif terjadi di satu titik di area layanan Apung pada jam 5:00–7:00 serta pada jam 15:00–17:00. Tekanan negatif terjadi ketika permintaan kebutuhan air melebihi kebutuhan dasar. Tekanan negatif menunjukkan bahwa kebutuhan air di area layanan Apung tidak dapat terpenuhi. Tekanan di *node* LayananBR4 dan LayananBR5 zona distribusi Bumi Rahayu berada dibawah kriteria tekanan minimum pada jam 6:00 dan 16:00.



Gambar 3.1 Tekanan dan kecepatan dalam pipa di area layanan Bumi Rahayu dan Apung pada jam 6:00.

Tabel 3.1. Tekanan area layanan Bumi Rahayu dan Apung pada jam 6:00 dan 16:00.

Node ID	Kebutuhan dasar l/s	Kebutuhan aktual l/s	Jam ke-	
			06:00 Tekanan m	16:00 Tekanan m
Junc LayananBR	3,2	4,8	30,21	30,35
Junc LayananBR2	2,4	3,6	41,89	42,03
Junc LayananBR3	3,2	4,8	27,3	27,45
Junc LayananBR4	3,2	4,8	2,98	3,12
Junc LayananBR5	2,4	3,6	3,48	3,62
Junc PelayananApung	6,75	10,13	45,09	45,1
Junc PelayananApung2	6,75	10,13	-29,13	-29,11
Junc PelayananApung3	6,75	10,13	25,58	25,59
Junc PelayananApung4	6,75	10,13	12,22	12,24

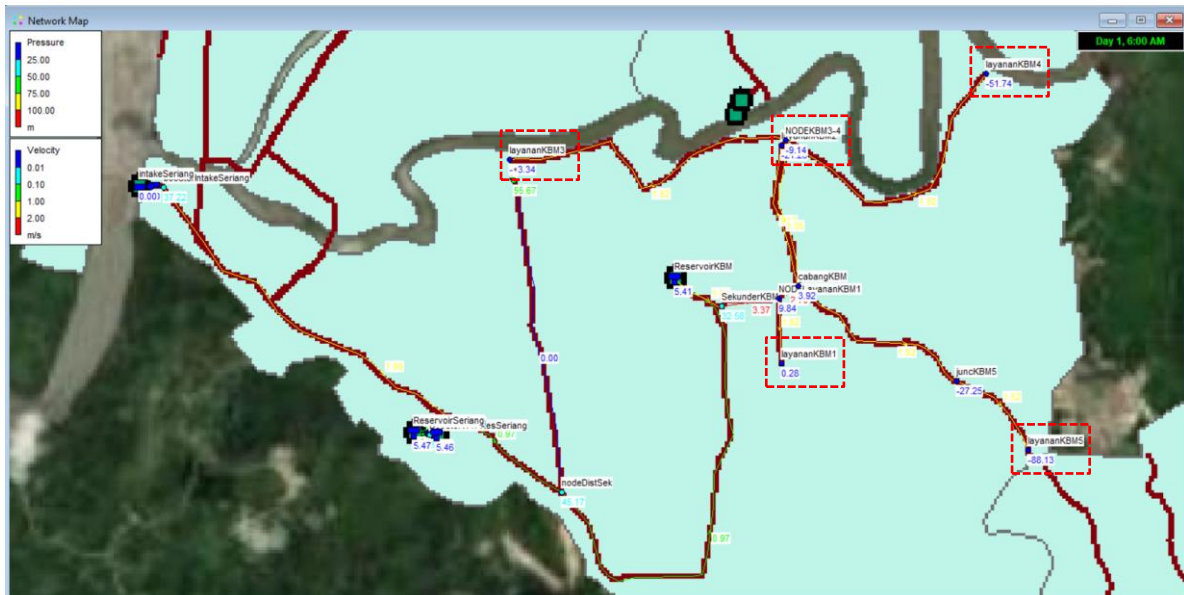
Kecepatan aliran dalam pipa harus memenuhi kriteria desain pada salah satu jam selama waktu simulasi. Hasil evaluasi kecepatan aliran dalam pipa menunjukkan bahwa 17 dari 19 pipa di zona distribusi Bumi Rahayu dan Apung memenuhi standar kriteria desain. Kecepatan aliran dalam pipa berkisar antara 0,44 sampai 1,61 m/s. Dua pipa yang tidak memenuhi kriteria merupakan pipa transmisi rencana. Pipa tersebut adalah pipa dari WTP Bumi Rahayu–Reservoir Bumi Rahayu dan pipa transmisi interkoneksi dari WTP KM.12–Reservoir Bukit Baratan dengan kecepatan maksimum masing-masing sebesar 0,29 m/s selama waktu simulasi.

3.2 Hasil Pemodelan Awal Sistem Penyediaan Air Baku Zona Distribusi Kota Baru Mandiri

Hasil pemodelan menunjukkan tekanan negatif terjadi di empat dari lima area layanan. Tekanan di bawah standar terjadi di area layanan pada jam tertentu dengan rincian sebagai berikut.

1. Tekanan di bawah 5 m terjadi di *node* LayananKBM1 pada jam ke 5:00–7:00 dan jam 15:00–17:00.
2. Tekanan negatif terjadi di *node* Layanan KBM2 pada jam ke 5:00–7:00 dan jam 15:00–17:00. Selain itu, tekanan di bawah 5 m terjadi pada jam 4:00, 8:00, 14:00 dan 18:00.
3. Tekanan negatif terjadi di *node* LayananKBM3 dan LayananKBM4 pada jam 4:00–8:00, jam 14:00, dan 18:00.
4. Selama waktu simulasi, tekanan negatif terjadi di *node* LayananKBM5. Hal ini disebabkan karena area layanan terletak lebih tinggi daripada titik pertemuan terakhir pipa sekunder. Perbedaan elevasi mencapai 45 meter. Tekanan yang dihasilkan tidak cukup untuk mengalirkan air menuju area layanan.

Kecepatan aliran dalam pipa di zona distribusi Kota Baru Mandiri seluruhnya memenuhi parameter kriteria desain dengan kisaran antara 0,52 m/s hingga 2,92 m/s.



Gambar 3.2 Tekanan dan kecepatan dalam pipa di area layanan Kota Baru Mandiri pada jam 6:00.

3.3 Hasil *Remodeling* Evaluasi Sistem Penyediaan Air Baku Zona Distribusi Bumi Rahayu dan Apung

Diameter pipa yang melayani area Apung diperbesar dari 4" menjadi 6" dilakukan untuk meningkatkan tekanan di area layanan. Reservoir Apung pada awalnya dilengkapi dua pipa outlet. Penggantian diameter pipa layanan Apung dapat mengurangi 250 m dari panjang total pipa pelayanan. Penambahan diameter pipa dapat mengakibatkan penurunan kecepatan aliran. Meskipun demikian, hasil evaluasi menunjukkan kecepatan aliran dalam pipa masih berada dalam kriteria kecepatan minimum.

Tekanan dibawah kriteria terjadi di *node* LayananBR4 dan LayananBR5 dapat ditingkatkan dengan menaikkan elevasi Reservoir Bukit Baratan sebesar 3 m di atas elevasi awal. Hasil pemodelan ulang menunjukkan bahwa peningkatan elevasi Reservoir Bukit Baratan menjadi +85 m dapat menaikkan tekanan air sebesar 48% dari tekanan air semula di *node* LayananBR4 dan LayananBR5. Peningkatan elevasi reservoir dapat menyebabkan peningkatan tekanan di area layanan lain. Meskipun demikian, hasil evaluasi tekanan di area layanan Bumi Rahayu menunjukkan bahwa perubahan elevasi reservoir tidak menyebabkan tekanan berlebih dalam sistem SPAM Bumi Rahayu dan Apung.

Tabel 3.2. Tekanan di area layanan Bumi Rahayu dan Apung setelah *Remodeling* pada jam 6:00 dan 16:00.

Node ID	Kebutuhan dasar	Kebutuhan aktual	Jam ke-	
			06:00	16:00
			Tekanan	Tekanan
	l/s	l/s	m	m
Junc LayananBR	3,2	4,8	33,21	33,25
Junc LayananBR2	2,4	3,6	44,89	44,93
Junc LayananBR3	3,2	4,8	30,3	30,35
Junc LayananBR4	3,2	4,8	5,98	6,02
Junc LayananBR5	2,4	3,6	6,48	6,52
Junc PelayananApung	6,75	10,13	45,05	45,1
Junc PelayananApung2	6,75	10,13	31,34	31,39
Junc PelayananApung3	6,75	10,13	21,87	21,91
Junc PelayananApung4	6,75	10,13	8,51	8,56

Kecepatan aliran di pipa transmisi WTP Bumi Rahayu–Reservoir Bukit Baratan dan pipa transmisi WTP KM.12–Reservoir Bukit Baratan ditingkatkan dengan memperkecil diameter pipa. Setelah melakukan perubahan ukuran pipa, kecepatan pipa pada jam puncak memenuhi kriteria. Perubahan diameter memengaruhi debit yang dapat melewati pipa. Meskipun demikian, kebutuhan air di area layanan Bumi Rahayu dan Apung tetap terpenuhi.

Tabel 3.3 Perbandingan kecepatan aliran akibat perubahan diameter pipa di zona distribusi Bumi Rahayu dan Apung.

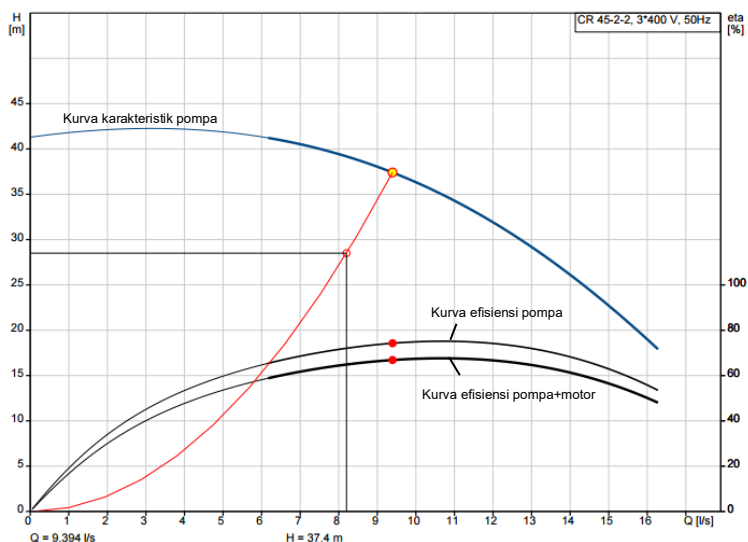
Link ID	Skema Awal			Remodeling		
	Diameter pipa	debit	kecepatan	Diameter pipa	debit	kecepatan
	inch	l/s	m/s	inch	l/s	m/s
Pipe BumiRahayu2	8	9,33	0,29	6	7,46	0,41
Pipe TransmisiKM-BB	8	9,2	0,28	6	6,09	0,33

3.4 Hasil *Remodeling* Evaluasi Sistem Penyediaan Air Baku Zona Distribusi Kota Baru Mandiri

Reservoir Kota Baru Mandiri pada awalnya adalah reservoir di permukaan tanah dengan elevasi +41 m. Untuk meningkatkan tekanan di area layanan, elevasi reservoir dinaikkan 2 m di atas elevasi awal. Diameter pipa distribusi sekunder, SekunderKBM dan SekunderKBM2, diperbesar menjadi 8". Diameter pipa layananKBM3 dan layananKBM4 diperbesar menjadi 6" karena tekanan negatif di area layanan masih terjadi pada jam 5:00–7:00 dan 15:00–17:00. Perubahan elevasi dan diameter pipa dapat mendukung proses distribusi secara gravitasi di area layananKBM1 sampai layananKBM4. Sedangkan di area layanan tinggi, layananKBM5, direkomendasikan pemasangan pompa sentrifugal yang dihubungkan secara seri. Pompa seri dipilih karena energi pompa yang diperlukan cukup besar sedangkan debit kebutuhan relatif tidak terlalu besar. Kurva karakteristik pompa diperoleh dari katalog pompa *grundfos*.

Tabel 3.4 Kebutuhan pompa sentrifugal zona distribusi Kota Baru Mandiri.

Lokasi	Diameter pipa (inch)	Panjang pipa (m)	Debit (l/s)	ΔH (m)	H_p (m)	Daya pompa (kW)	Jumlah pompa
Pipa LayananKBM5	4	800	8,2	45	57	6,13	2 (seri)



Gambar 3.3 Kurva karakteristik pompa sentrifugal di *node* LayananKBM5.

Tabel 3.5 Tekanan di area layanan Kota Baru Mandiri saat jam puncak.

Node ID	Debit kebutuhan l/s	Skema Awal		Remodeling	
		Head m	Tekanan m	Head m	Tekanan m
<i>Junc cabangKBM</i>	0	18,98	11,98	40,37	33,37
<i>Junc layananKBM1</i>	10,66	15,42	9,42	33,38	27,38
<i>Junc layananKBM2</i>	10,66	1,97	-8,03	23,35	13,35
<i>Junc NODEKBM3-4</i>	0	10,11	1,61	31,5	23
<i>Junc layananKBM3</i>	10,66	-27,25	-31,25	26,32	22,32
<i>Junc layananKBM4</i>	10,66	-25,26	-30,26	26,59	21,59
<i>Junc LayananKBM5</i>	10,66	-18,65	-68,65	72,52	22,52

Seluruh pipa pada awalnya telah memenuhi standar kriteria desain kecepatan minimum. Ketika pemodelan ulang dilakukan, pembesaran diameter pipa dapat menyebabkan penurunan kecepatan aliran dalam pipa. Meskipun demikian, setelah dilakukan pemodelan ulang, kecepatan aliran dalam pipa di zona distribusi Kota Baru Mandiri tetap memenuhi standar kriteria desain.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Selama jam puncak di zona distribusi Bumi Rahayu dan Apung, evaluasi menunjukkan bahwa terjadi tekanan negatif di *node* LayananApung2. Tekanan di bawah standar kriteria desain terjadi di *node* LayananBR4 dan LayananBR5. Dua pipa transmisi yang direncanakan di zona distribusi Bumi Rahayu memiliki kecepatan aliran dibawah standar kecepatan minimum, dengan kecepatan maksimum yang terjadi sebesar 0,29 m/s. Tekanan negatif terjadi di zona distribusi Kota Baru Mandiri di *node* LayananKBM2 sampai LayananKBM5. Hal ini disebabkan oleh tingginya area layanan di *node* LayananKBM5 yang membutuhkan tinggi energi yang besar untuk mengalirkan air ke area layanan. Kecepatan aliran dalam pipa di zona distribusi Kota Baru Mandiri seluruhnya telah memenuhi standar kriteria desain.
- Rekomendasi penggantian diameter pipa dan penambahan pompa pada sistem penyediaan air baku adalah sebagai berikut.
 - Pembesaran diameter pipa layanan ke *node* LayananApung2 dari 4" menjadi 6" dan memperpendek pipa layanan menjadi 250 m lebih pendek dari panjang pipa layanan awal.
 - Reservoir Bukit Baratan ditinggikan 3 m dari elevasi awal.
 - Pengecilan diameter pipa transmisi rencana WTP Bumi Rahayu–Reservoir Bukit Baratan dan pipa transmisi WTP KM.12–Reservoir Bukit Baratan yang semula sebesar 8" menjadi 6".
 - Reservoir Kota Baru Mandiri ditinggikan 2 m dari elevasi awal.
 - Pembesaran diameter pipa distribusi sekunder dari 6" menjadi 8"
 - Pembesaran diameter pipa LayananKBM3 dan LayananKBM4 dari 4" menjadi 6".
 - Penambahan pompa *booster* sentrifugal yang disusun seri di *node* LayananKBM5.
- Pemodelan dapat dilakukan pada zona distribusi lain di wilayah Tanjung Selor dengan variabel evaluasi yang tidak terbatas pada tekanan serta kecepatan aliran dalam pipa.
- Analisis Harga Perkiraan Perancang (HPP) perlu dilakukan untuk mempertimbangkan rekomendasi yang dapat diterapkan sesuai dengan anggaran yang tersedia.

REFERENSI

- Abdulameer, L. S., and N. T. Dzhmagulova. 2022. "USING SIMULATION METHODS TO STUDY PRESSURE LOSSES IN A WATER SUPPLY SYSTEM FOR IRRIGATION." (7): 6–11. <https://doi.org/10.34831/EP.2022.27.39.001>.
- Agunwamba, J. C., O. R. Ekwule, and C. C. Nnaji. 2018. "Performance evaluation of a municipal water distribution system using waterCAD and Epanet." *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 8 (3): 459–467. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.262>.

- Allaire, G. 2007. "Introduction to mathematical modelling and numerical simulation." *Numerical Analysis And Optimization: An introduction to mathematical modelling and numerical simulation*, (G. Allaire, ed.). Oxford University Press.
- Crowe, C. T., D. F. Elger, B. C. Williams, and J. A. Roberson. 2009. *Engineering Fluid Mechanics*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Deb, A., S. Das, R. Gupta, and A. Mukherjee. 2023. "Distribution System Design using QGIS and EPANET." *Environmental Industry Letters*, 1: 459–467. <https://doi.org/10.15157/eil.2023.1.2.101-110>.
- Dewata, H. 2022. "Jaringan Distribusi Air Minum Unit Bedog PDAM Tirtamarta Kota Yogyakarta." Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Karassik, I. J., J. P. Messina, P. Cooper, and C. C. Heald (Eds.). 2001. *Pump Handbook*. McGraw-Hill.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2016. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Mohapatra, S., A. Sargaonkar, and P. K. Labhasetwar. 2014. "Distribution network assessment using EPANET for intermittent and continuous water supply." *Water Resources Management*, 28 (11): 3745–3759. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0707-y>.
- Moody, L. F. 1944. "Friction Factors for Pipe Flow." *Trans. ASME*, 66: 671–678.
- Muranho, J., A. Ferreira, J. Sousa, A. Gomes, and A. S. Marques. 2020. "Pressure-Driven Simulation of Water Distribution Networks: Searching for Numerical Stability." *Environmental Sciences Proceedings*, 48.
- Rossman, L. A., H. Woo, M. Tryby, F. Shang, and R. Janke. 2020. *EPANET 2.2 User Manual*.
- Triatmodjo, B. 1993. *HIDRAULIKA II*. Yogyakarta: Beta Offset.