EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH MENGGUNAKAN SIMULASI EPANET 2.2 DI PERUMAHAN BORNEO *RESIDENCE* KABUPATEN BULUNGAN

SKRIPSI

Disusun Oleh:

IQBAL MADHANI

NPM. 202212001

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS KALTARA

2026

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Iqbal Madhani

Npm : 202212001

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya buat dengan judul :

EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH MENGGUNAKAN SIMULASI EPANET 2.2 DI PERUMAHAN BORNEO *RESIDENCE* KABUPATEN BULUNGAN

Merupakan salah satu persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kaltara. Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikat untuk mendapatkan gelar sarjana di lingkungan Universitas Kaltara maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian sumber informasi yang dicantumkan sebagaimana mestinya, saya bertanggung jawab sepenuhnya atas kebenaran dari skripsi ini.

Demikian pernyataan skripsi ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Saya siap mendapatkan sanksi akademis apabila dikemudian hari ditemukan pelanggaran terkait penyusunan skripsi ini.

Tanjung Selor, Juli 2026

IQBAL MADHANI
202212001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH MENGGUNAKAN SIMULASI EPANET 2.2 DI PERUMAHAN BORNEO *RESIDENCE* KABUPATEN BULUNGAN

Disusun Oleh :

IQBAL MADHANI
NPM. 202212001

Tanjung Selor, Juli 2026

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T.
NIDN : 11.031079.01

Dosen Penguji 1,

Nofrizal, S.Si., M.T.
NIDN : 11.020481.01

Dosen Penguji 2,

Zainal Abidin, S.T., M.Pd
NIDN : 11.130170.02

Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T.
NIDN : 11.031079.01

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Ir. Enny Haryvanti, S.T., M.T.
NIDN : 11.220786.02

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunianya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana dengan judul ”EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH MENGGUNAKAN SIMULASI EPANET 2.2 DI PERUMAHAN BORNEO *RESIDENCE* KABUPATEN BULUNGAN” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Kaltara. Dalam penulisan tugas akhir ini, dan tidak lupa penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah banyak memberi bantuan baik berupa moril maupun materi sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT.
2. Kepada Orang Tua Saya Ibu Rukibah yang selalu memberikan semangat dan dukungan doa selama penelitian tugas akhir.
3. Kedua Adek-Adek Saya Aulia Nurul Andini dan Muhammad Ibnu Abdullah yang selalu memberikan motivasi kepada saya.
4. Dr. Didi Ardiansyah, S.T.P.,M.M., Selaku Rektor Universitas Kaltara.
5. Ir. Enny Harviyanti,S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
6. Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Sekaligus Dosen Pemimbing yang telah meluangkan waktu untuk membantu dan membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Novrizal, S.Si., M.T., selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan saran selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Zainal Abidin, S.T., M.Pd., selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran selama penyusunan tugas akhir ini.

9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan selama perkuliahan.

Demikian yang penulis dapat sampaikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan mampu membantu mengurangi permasalahan yang terjadi. Penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun yang sangat penulis harapkan. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca. Sekian dan Terima kasih.

Tanjung Selor, April 2026

IQBAL MADHANI

NPM: 202212001

Iqbal Madhani
202212001
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing
Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T

EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH MENGGUNAKAN SIMULASI EPANET 2.2 DI PERUMAHAN BORNEO *RESIDENCE* KABUPATEN BULUNGAN

ABSTRAK

Perumahan Borneo *Residence* merupakan kawasan permukiman di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara yang telah beroperasi sejak April 2022 dan terdiri dari 245 unit rumah. Jaringan distribusi air bersih di perumahan ini bersumber dari PDAM Kabupaten Bulungan, namun sejak pertama beroperasi belum pernah dilakukan evaluasi teknis secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hidrolis jaringan pipa distribusi air bersih *eksisting* dan mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar pelayanan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007 berdasarkan parameter tekanan, debit, dan kecepatan aliran air. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analitik. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan, meliputi gambar *as-built* jaringan pipa, data teknis pipa, data elevasi, dan data *base demand*. Pemodelan dan simulasi hidrolis dilakukan menggunakan perangkat lunak EPANET 2.2 pada jaringan yang terdiri dari 29 *Junction*, 29 segmen pipa berbahan PVC dengan variasi diameter 110 mm, 90 mm, dan 63 mm, serta 1 reservoir dengan total debit pasokan sebesar 12,8 LPS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter tekanan air pada seluruh 29 *Junction* memenuhi standar 100%, dengan nilai tekanan terendah sebesar 8,83 mka pada *Junction* 9 dan tertinggi sebesar 24,95 mka pada *Junction* 1. Parameter debit air juga terpenuhi seluruhnya, di mana seluruh *base demand* pada 29 *Junction* terlayani dengan baik. Namun, parameter kecepatan aliran air tidak memenuhi standar secara menyeluruh, di mana hanya 7 dari 29 segmen pipa yang memenuhi standar minimum 0,3 m/s, sementara 22 segmen pipa lainnya memiliki kecepatan di bawah standar akibat kondisi *over-dimension*. Rekomendasi teknis berupa reduksi diameter pipa pada 22 segmen pipa tersebut menjadi 50 mm terbukti efektif meningkatkan kecepatan aliran pada pipa distribusi primer, namun pada pipa pelayanan blok perumahan kecepatan masih berada di bawah 0,3 m/s dan dinyatakan sebagai kondisi *acceptable margin velocity* yang dapat ditoleransi demi mempertahankan keamanan tekanan dan kontinuitas pasokan air bersih kepada konsumen.

Kata Kunci : Distribusi Air Bersih, EPANET 2.2, Evaluasi Hidrolis, Jaringan Perpipaan, Permen PU No.18/PRT/M/2007.

Iqbal Madhani
202212001
Department of Civil Engineering

Supervising Lecturer
Ir. Rachel Zandra Singal, S.T., M.T

EVALUATION OF CLEAN WATER DISTRIBUTION PIPE NETWORK USING EPANET 2.2 SIMULATION AT BORNEO RESIDENCE HOUSING BULUNGAN REGENCY

ABSTRACK

Borneo Residence is a residential area located in Bulungan Regency, North Kalimantan Province, which has been operational since April 2022 and consists of 245 housing units. The clean water distribution network in this housing complex is supplied by the Regional Water Company (PDAM) of Bulungan Regency, however, since its first operation, no comprehensive technical evaluation has ever been conducted. This study aims to analyze the hydraulic condition of the existing clean water distribution pipe network and evaluate its compliance with the service standards of Ministerial Regulation of Public Works No. 18/PRT/M/2007 based on the parameters of pressure, flow rate, and flow velocity. This study employed a quantitative approach with a descriptive-analytical method. The data used were secondary data obtained from PDAM Bulungan Regency, including as-built drawings of the pipe network, technical pipe data, elevation data, and base demand data. Hydraulic modeling and simulation were carried out using EPANET 2.2 software on a network consisting of 29 Junctions, 29 pipe segments made of PVC material with diameter variations of 110 mm, 90 mm, and 63 mm, and 1 reservoir with a total supply flow rate of 12.8 LPS. Simulation results indicate that the water pressure parameter at all 29 Junctions meets the standard at 100%, with the lowest pressure value of 8.83 mwc at Junction 9 and the highest of 24.95 mwc at Junction 1. The flow rate parameter was also fully satisfied, where the entire base demand at all 29 Junctions was adequately served. However, the flow velocity parameter did not meet the standard comprehensively, where only 7 out of 29 pipe segments met the minimum standard of 0.3 m/s, while the remaining 22 pipe segments had velocities below the standard due to an over-dimension condition. A technical recommendation involving pipe diameter reduction on those 22 pipe segments to 50 mm proved effective in increasing flow velocity on the primary distribution pipes, however, the service pipes within the housing blocks still showed velocities below 0.3 m/s and were declared as an acceptable margin velocity condition that can be tolerated in order to maintain pressure safety and continuity of clean water supply to consumers.

Keywords : Clean Water Distribution, EPANET 2.2, Hydraulic Evaluation, Pipe Network, Ministerial Regulation No. 18/PRT/M/2007.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ii
PENGESAHAN iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. LATAR BELAKANG 1
1.2. RUMUSAN MASALAH 3
1.3. TUJUAN PENELITIAN 3
1.4. BATASAN PENELITIAN 4
1.5. MANFAAT PENELITIAN 4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN 5
BAB II LANDASAN TEORI 7
2.1. SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM 7
2.1.1. Pengertian SPAM 7
2.1.2. Syarat Jaringan Distribusi Air Bersih 7
2.2. SISTEM DISTRIBUSI AIR BERSIH 8
2.2.1. Sistem Hidrolis (Pengairan) 8
2.2.2 Sistem Jaringan 10
2.2.3 Sistem Perpipaan 13
2.2.4 Sistem Waktu Pengaliran 15
2.3. DASAR TEORI HIDROLIKA DALAM SISTEM DISTRIBUSI 15
2.4. KEBUTUHAN AIR 17
2.4.1 Kebutuhan Air Domestik 17
2.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik 18
2.4.3 Pola Kebutuhan Air 19
2.5. EPANET 2.2 (2020) 20
2.5.1 Kemampuan Model Hidrolis 21

2.5.2 Simulasi Jaringan Perpipaan 21
2.5.3 Tahapan Simulasi menggunakan EPANET 2.2 22
2.6. STANDAR PELAYANAN JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH 23
2.6.1 Standar Tekanan Air (*Pressure*) 23
2.6.2 Standar Debit Air (*Flow*) 25
2.6.3 Standar Kecapatan Aliran Air (*Velocity*) 25
2.7. PENELITIAN TERDAHULU 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 30
3.1 LOKASI PENELITIAN 30
3.2 PENDEKATAN PENELITIAN 31
3.3 PENGUMPULAN DATA 31
3.3.1 Peralatan Penelitian 31
3.3.2 Teknik Pengumpulan Data 31
3.3.3 Data Primer 32
3.3.4 Data Sekunder 32
3.4 TAHAPAN ANALISIS DATA 33
3.5 BAGAN ALIR PENELITIAN 34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 36
4.1 LOKASI PENELITIAN 36
4.2 KONDISI *EKSISTING* JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH 37
4.3 SIMULASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN EPANET 2.2 42
4.3.1 PERHITUNGAN MANUAL 49
4.4 EVALUASI HASIL SIMULASI DENGAN STANDAR PELAYANAN 51
4.4.1 Evaluasi Tekanan Air (*pressure*) 52
4.4.2 Evaluasi Kecepatan Aliran (*Velocity*) 52
4.4.3 Evaluasi Debit Air (Flow) 54
4.5 REKOMENDASI TEKNIS PERBAIKAN JARINGAN DISTRIBUSI 55
4.5.1 Skenario Reduksi Diameter Pipa (*Resizing*) 55
4.5.2 Analisis Hasil Simulasi Skenario Rekomendasi 56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 58
5.1 KESIMPULAN 58
5.2 SARAN 60

DAFTAR PUSTAKA..... 61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP 62
LAMPIRAN..... 63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Gravitasi 9
Gambar 2.2 Sistem Pompa 10
Gambar 2.3 Sistem *Branch* 11
Gambar 2.4 Sistem *Loop* 11
Gambar 2.5 Sistem Campuran 12
Gambar 2.6 Sistem *Grid-iron* 12
Gambar 2.7 Sistem Radial 13
Gambar 2.8 Hierarki Sistem Perpipaan 14
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian 30
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian 35
Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian 36
Gambar 4.2 Peta Denah Pipa 38
Gambar 4.3 Kondisi *Eksisting* Sebelum *Running* 43
Gambar 4.4 Hasil *Running* Peta Jaringan Tekanan Air 44
Gambar 4.5 Hasil *Running* Peta Jaringan Kecepatan Aliran 46
Gambar 4.6 Hasil *Running* Peta Jaringan Debit Air 47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien *Hazen-Williams* 17
Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Air Bersih 18
Tabel 2.3 Perhitungan Kebutuhan Air Domestik 18
Tabel 2.4 Kebutuhan Air Non Domestik 19
Tabel 2.5 Kriteria Pipa Distribusi 24
Tabel 2.6 Perbedaan Penelitian 27
Tabel 4.1 Data Teknis Pipa 38
Tabel 4.2 Data *Base Demand* 40
Tabel 4.3 Data Elevasi Setiap Titik 41
Tabel 4.4 *Output Pressure* (Tekanan) 45
Tabel 4.5 *Output Velocity* (kecepatan) 46
Tabel 4.6 *Output Flow* (Debit) 48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia yang sangat penting untuk menunjang kehidupan sehari-hari seperti mandi, dan mencuci. Ketersediaan air yang cukup baik dari segi kuantitas, kualitas, maupun kontinuitas sangat diperlukan terutama pada kawasan perumahan yang terus berkembang. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan kawasan permukiman, kebutuhan akan sistem distribusi air bersih yang handal semakin meningkat.

Sistem distribusi air bersih berfungsi untuk menyalurkan air dari sumber atau reservoir menuju konsumen melalui jaringan perpipaan. Dalam sistem distribusi, tekanan, kecepatan, dan debit air merupakan faktor penting yang menentukan apakah air dapat tersalurkan dengan baik hingga ke seluruh konsumen. Apabila tekanan terlalu rendah, maka pelayanan air bersih dapat terganggu, sebaliknya apabila tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan pipa. Oleh karena itu, evaluasi teknis terhadap jaringan distribusi perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan sistem berjalan sesuai standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih.

Perumahan Borneo *Residence* merupakan salah satu kawasan permukiman yang berlokasi di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Perumahan ini mulai beroperasi sejak bulan April tahun 2022 dan saat ini telah memiliki sekitar 245 unit rumah yang dihuni oleh masyarakat. Perumahan Borneo *Residence* mendapatkan layanan air bersih dari PDAM Kabupaten Bulungan yang didistribusikan melalui jaringan perpipaan ke seluruh unit rumah yang ada. Secara teknis, jaringan distribusi di perumahan ini terdiri dari 29 titik simpul (*Junction*), 29 segmen pipa berbahan PVC dengan variasi diameter 110 mm, 90 mm, dan 63

mm, serta dilengkapi dengan sistem pemompaan untuk mendistribusikan air ke seluruh blok pelayanan.

Sejak pertama beroperasi pada tahun 2022, jaringan distribusi air bersih di Perumahan Borneo *Residence* belum pernah dilakukan evaluasi teknis secara menyeluruh. Belum diketahui secara pasti apakah tekanan dan debit air pada setiap titik jaringan telah memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. Kondisi ini perlu segera ditangani mengingat jaringan distribusi yang tidak terevaluasi dapat menyebabkan pelayanan air bersih yang tidak optimal kepada masyarakat, seperti tekanan air yang tidak mencukupi pada titik-titik pelayanan terjauh maupun kecepatan aliran yang terlalu rendah sehingga berpotensi menimbulkan pengendapan sedimen di dalam pipa, serta ketidakmampuan sistem melayani seluruh kebutuhan air konsumen secara optimal seiring berkembangnya perumahan.

Dalam rangka melakukan evaluasi jaringan distribusi air bersih secara akurat dan efisien, digunakan perangkat lunak simulasi hidrolis EPANET 2.2. Epanet merupakan program komputer yang dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency* atau *US EPA* yang mampu mensimulasikan kondisi hidrolis jaringan perpipaan secara menyeluruh. EPANET 2.2 dapat menghitung tekanan pada setiap titik, debit aliran pada setiap segmen pipa, dan kecepatan aliran pada jaringan perpipaan dalam satu model simulasi secara bersamaan.

EPANET 2.2 dipilih dalam penelitian ini karena bersifat gratis dan *open source* sehingga mudah diakses untuk keperluan penelitian akademik, serta telah terbukti valid dan banyak digunakan dalam penelitian sejenis di Indonesia. Dengan menggunakan simulasi EPANET 2.2 dapat diketahui kondisi tekanan dan debit pada setiap titik jaringan distribusi air bersih di perumahan Borneo *Residence*. Berdasarkan hal tersebut maka peneliti mengambil judul **”Evaluasi Jaringan Pipa**

Distribusi Air Bersih Menggunakan Simulasi EPANET 2.2 di Perumahan Borneo *Residence* Kabupaten Bulungan."

1.2.RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi hidrolis jaringan pipa distribusi air bersih *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence*?
2. Apakah kinerja jaringan distribusi air bersih telah memenuhi Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih. berdasarkan parameter (tekanan, debit dan kecepatan) ?
3. Bagaimana rekomendasi teknis perbaikan jaringan distribusi air bersih apabila terdapat parameter hidrolis yang tidak memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007?

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kondisi hidrolis (tekanan, debit dan kecepatan aliran) pada jaringan pipa distribusi air bersih *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* menggunakan simulasi EPANET 2.2.
2. Mengevaluasi kesesuaian kinerja jaringan distribusi air bersih di Perumahan Borneo *Residence* berdasarkan standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih. (parameter tekanan, debit dan kecepatan).
3. Merumuskan rekomendasi teknis perbaikan jaringan distribusi air bersih di Perumahan Borneo Residence apabila hasil evaluasi menunjukkan adanya

parameter hidrolis yang belum memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007.

1.4.BATASAN PENELITIAN

Batasan penelitian pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada jaringan distribusi air bersih di Perumahan Borneo *Residence* Kabupaten Bulungan.
2. Analisis dilakukan pada jaringan distribusi (pipa distribusi), tidak mencakup proses pengolahan air di instalasi pengolahan air (IPA).
3. Simulasi jaringan dilakukan menggunakan software EPANET 2.2 berdasarkan data teknis yang diperoleh.
4. Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan aliran air, debit aliran, dan tekanan pada setiap titik (*Junction*) jaringan.
5. Perencanaan dilakukan apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa tekanan, debit dan kecepatan aliran air tidak memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih.
6. Penelitian tidak membahas aspek biaya konstruksi secara detail (RAB) maupun analisis ekonomi.
7. Penelitian tidak membahas kualitas air

1.5.MANFAAT PENELITIAN

1. Manfaat Teoritis
    a. Memberikan kontribusi akademis serta memperkaya literatur ilmiah di bidang Teknik Sipil, khususnya pada sub-bidang Rekayasa Hidrolika terkait sistem distribusi air bersih.
    b. Menjadi bahan referensi, perbandingan, dan acuan bagi penelitian selanjutnya yang mengkaji analisis kinerja hidrolis jaringan perpipaan menggunakan bantuan simulasi perangkat lunak EPANET 2.2.

2. Manfaat Praktis
    a. Bagi Pihak Pengembang / Pengelola: Memberikan masukan teknis dan bahan evaluasi dalam mengoptimalkan sistem distribusi air bersih, baik terkait tekanan, debit, maupun pemilihan diameter pipa di lingkungan Perumahan Borneo *Residence*.

1.6.SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan ini disusun bab demi bab yang dimana tiap bab dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang akan diuraikan lagi. Hal ini dimaksudkan agar setiap permasalahan yang akan dibahas dapat segera diketahui dengan mudah. Adapun penguraiannya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi sistem penyediaan air bersih, jaringan distribusi air bersih, kriteria perencanaan jaringan pipa, tekanan, debit dan kecepatan aliran air, serta dasar penggunaan aplikasi EPANET 2.2 dalam analisis jaringan perpipaan. Selain itu, bab ini juga memuat penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang lokasi dan waktu penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, tahapan analisis, serta prosedur simulasi jaringan menggunakan EPANET 2.2.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil evaluasi dan simulasi jaringan distribusi air bersih, meliputi evaluasi tekanan, debit, dan kecepatan aliran air jaringan *eksisting*, serta perencanaan atau rekomendasi perbaikan jaringan berdasarkan hasil simulasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun untuk pihak PDAM Kabupaten Bulungan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM

2.1.1. Pengertian SPAM

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan satu kesatuan sarana dan prasarana penyedia air minum untuk memenuhi kebutuhan masyarakat agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih dan produktif. Jenis sistem penyediaan air minum diantaranya:

1. SPAM JP (Jaringan Perpipaan) adalah satu kesatuan sarana dan prasarana penyediaan air minum yang disalurkan kepada pelanggan melalui sistem perpipaan.
2. SPAM BJP (Bukan Jaringan Perpipaan) adalah satu kesatuan sarana prasarana penyediaan Air Minum yang disalurkan atau diakses pelanggan tanpa sistem perpipaan.

   (Permen PUPR No. 27,2016)

Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR tersebut, Penyelenggaraan SPAM bertujuan untuk menyediakan pelayanan air minum dan air bersih yang memenuhi persyaratan kualitas, kuantitas, dan kontinuitas. Dalam penelitian ini, evaluasi difokuskan pada keandalan jaringan distribusi fisik untuk penyediaan air bersih bagi konsumen di Perumahan Borneo *Residence*.

2.1.2. Syarat Jaringan Distribusi Air Bersih

Jaringan distribusi air bersih merupakan bagian yang terintegrasi dalam perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), di mana secara teknis berfungsi untuk menyalurkan air dari reservoir menuju konsumen (pelanggan). Agar sistem distribusi air bersih dapat berfungsi secara optimal dan memenuhi

kebutuhan masyarakat, maka terdapat beberapa persyaratan teknis hidrolis yang harus dipenuhi.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum, sistem distribusi harus mampu menjamin kuantitas, kualitas, dan kontinuitas pelayanan air minum maupun air bersih kepada masyarakat.

Adapun syarat jaringan distribusi air bersih secara umum meliputi:

1. Kualitas

   Selama proses distribusi, kualitas air harus tetap memenuhi standar air bersih dan tidak mengalami pencemaran. Tekanan negatif dalam pipa harus dihindari karena dapat menyebabkan masuknya kontaminan dari luar sistem.
2. Kuantitas

   Debit air yang didistribusikan harus mampu memenuhi kebutuhan air domestik masyarakat seperti mandi dan mencuci. Perhitungan debit didasarkan pada jumlah penduduk, tingkat konsumsi air per kapita, serta faktor fluktuasi pemakaian.
3. Kontinuitas

   Sistem distribusi yang baik mampu menyediakan air secara terus- menerus selama 24 jam. Sistem intermiten dapat menyebabkan gangguan pelayanan dan menurunkan kualitas air dalam jaringan.

2.2.SISTEM DISTRIBUSI AIR BERSIH

2.2.1. Sistem Hidrolis (Pengairan)

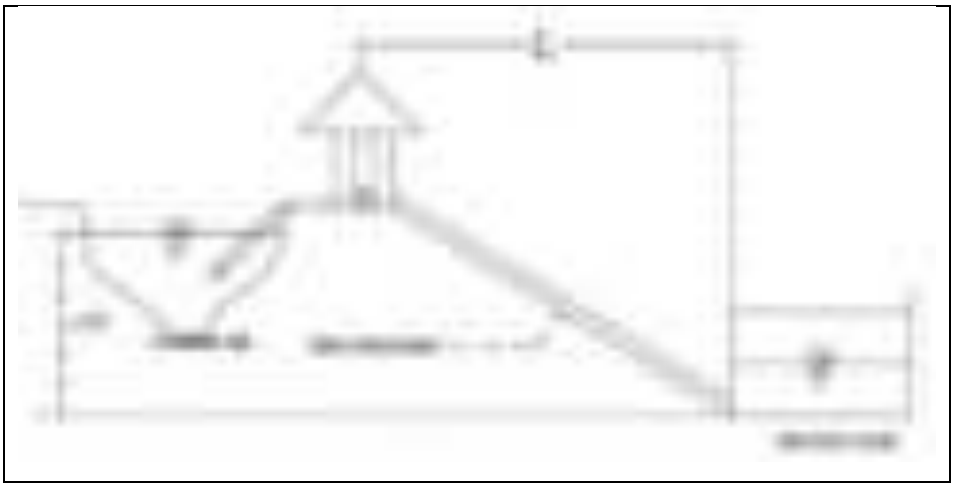
Sistem hidrolis dalam distribusi air bersih adalah sistem pengaliran air di dalam jaringan perpipaan yang memanfaatkan prinsip-prinsip hidrolika, seperti tekanan, debit, kecepatan aliran air, dan elevasi, agar air dapat mengalir dari sumber atau reservoir menuju konsumen.

Aliran dalam pipa dipengaruhi oleh energi total (*head*), kehilangan energi akibat gesekan, serta perbedaan elevasi. Prinsip ini menjadi dasar dalam perencanaan dan evaluasi jaringan distribusi air bersih. (Triatmodjo, 2010).

Berikut beberapa cara pengaliran distribusi air bersih:

1. Sistem Gravitasi

   Sistem gravitasi adalah sistem distribusi air yang memanfaatkan perbedaan elevasi antara sumber air atau reservoir dengan daerah pelayanan sehingga air dapat mengalir secara alami tanpa bantuan pompa.

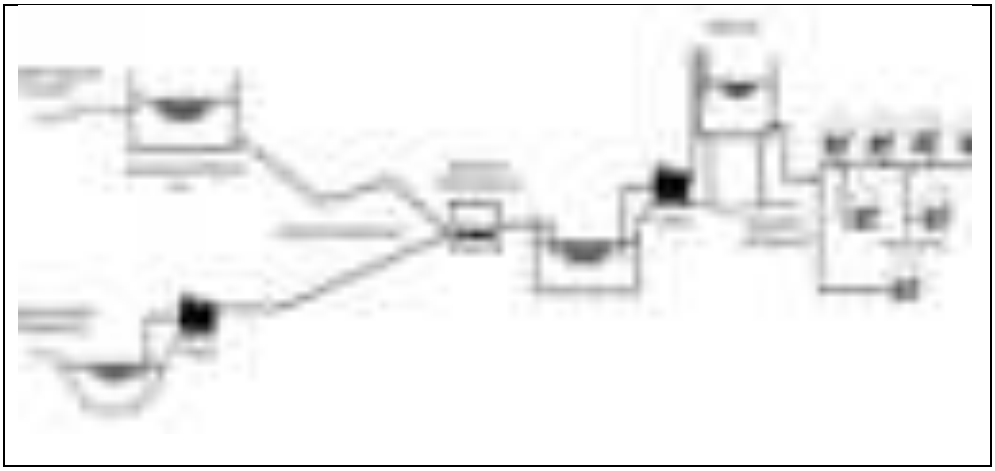


Sumber : Triatmodjo, 2010

Gambar 2.1 Sistem Gravitasi

2. Sistem Pompa

   Sistem pompa adalah sistem distribusi air yang menggunakan tenaga mekanis (pompa) untuk memberikan tekanan tambahan sehingga air dapat dialirkan ke daerah pelayanan yang memiliki elevasi lebih tinggi atau tekanan yang tidak mencukupi (Triatmojo, 2010).



Sumber : Triatmodjo, 2010

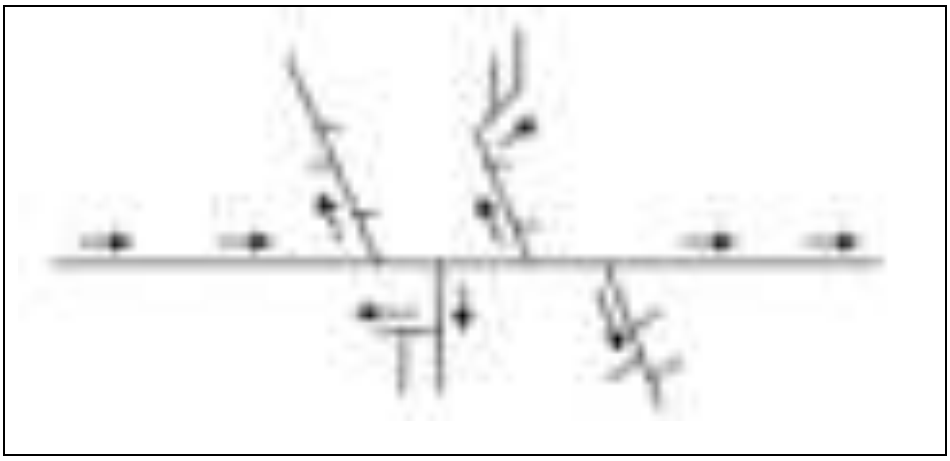
Gambar 2.2 Sistem Pompa

Dalam konteks Jaringan distribusi air bersih di perumahan borneo *residence*, sistem yang digunakan adalah sistem pompa dimana air yang bersumber dari PDAM Kabupaten bulungan di salurkan menggunakan energi pompa ke dalam jaringan distribusi perumahan sehingga air yang disalurkan memiliki cukup energi untuk mecapai seluruh titik pelayanan, termasuk titik yang berada paling jauh dari sumber.

2.2.2 Sistem Jaringan

1. Sistem *Branch* (Bercabang)

   Sistem *Branch* atau sistem bercabang adalah Jaringan perpipaan yang menyerupai struktur pohon, di mana pipa utama bercabang menjadi pipa-pipa yang lebih kecil dan tidak membentuk sirkulasi tertutup. Aliran air hanya memiliki satu arah dan tidak terdapat jalur alternatif apabila terjadi gangguan pada salah satu pipa (Tri Joko, 2010)

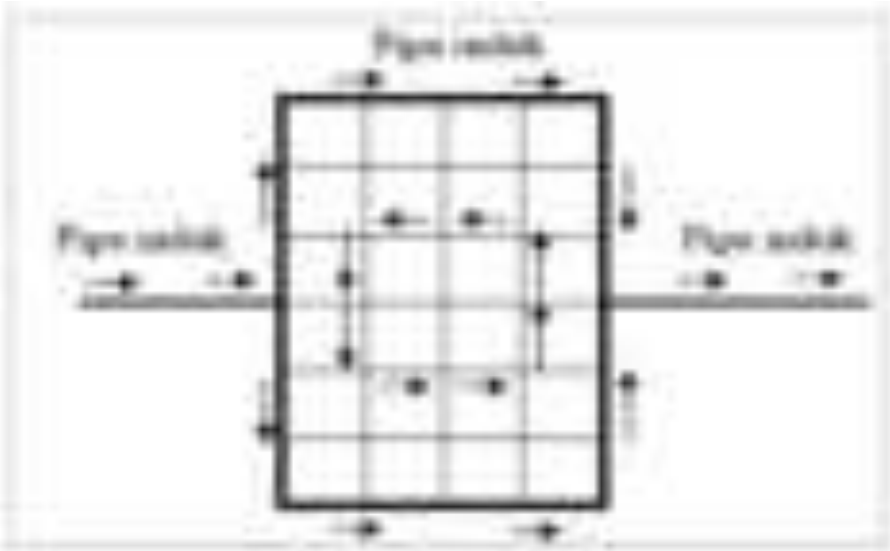


Sumber: Tri Joko, 2010

Gambar 2.3 Sistem *Branch*

2. Sistem *Loop* (Melingkar)

   Pipa induk pertama terletak mengelilingi daerah layanan. Pengembalian dibagi menjadi dua dan masing-masing mengelilingi batas daerah layanan, dan keduanya bertemu kembali ke ujung. Pipa perlintasan menghubungkan kedua pipa induk utama. Didalam daerah layanan, pipa pelayanan utama terhubung dengan pipa induk utama (Tri Joko, 2010).

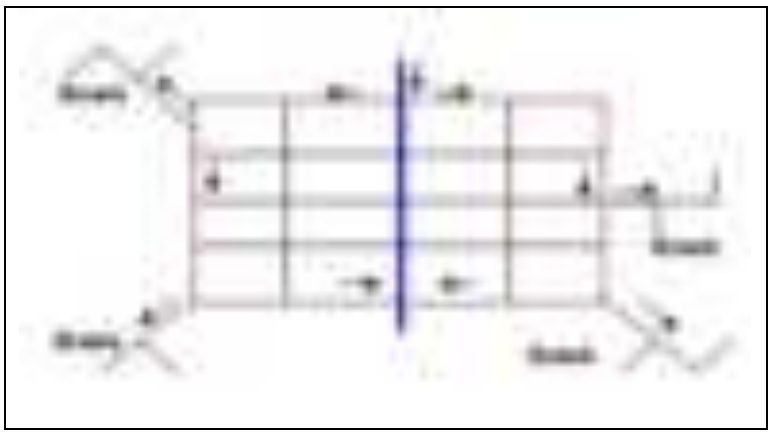


Sumber: Tri Joko, 2010

Gambar 2.4 Sistem *Loop* (Melingkar)

3. Sistem Campuran

Sistem campuran ini merupakan kombinasi antara sistem *branch* dan sistem *loop*. Pada umumnya, pipa utama menggunakan sistem *loop* untuk menjaga kestabilan tekanan, sedangkan pipa distribusi sekunder menggunakan sistem bercabang (Tri Joko, 2010)

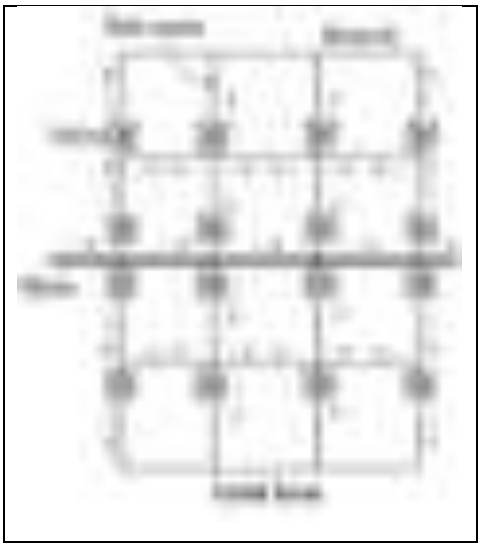


Sumber: Tri Joko, 2010

Gambar 2.5 Sistem *Campuran*

4. Sistem *Grid Iron*

Sistem *grid iron* adalah jaringan distribusi yang membentuk pola menyerupai kotak-kotak (*grid*) dengan banyak pertemuan antar pipa. Sistem ini memungkinkan distribusi air sangat merata karena banyak jalur alternatif aliran.

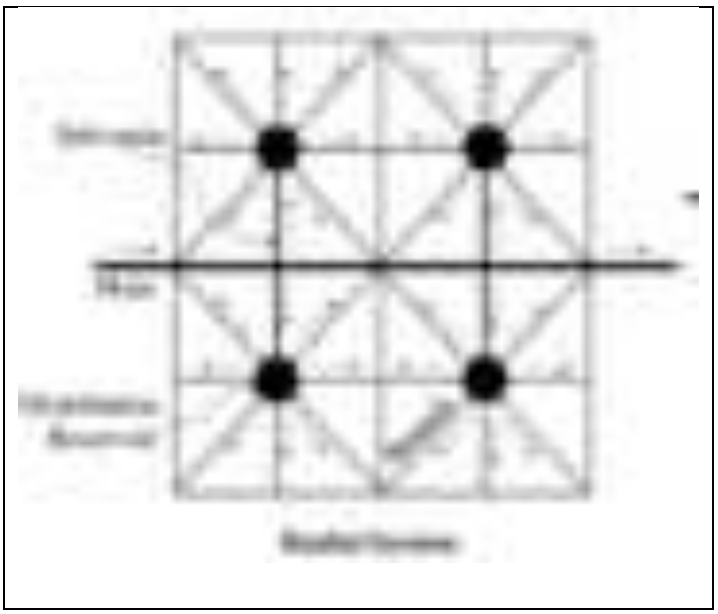


Sumber: Tri Joko, 2010

Gambar 2.6 Sistem *Grid-iron*

5. Sistem radial

   Sistem radial adalah jaringan distribusi yang memusat pada satu titik pusat (Reservoir) dan menyebar ke berbagai arah seperti jari-jari lingkaran. Sistem ini biasanya digunakan pada kawasan yang direncanakan secara terpusat (Tri Joko, 2010).



Sumber: Tri Joko, 2010

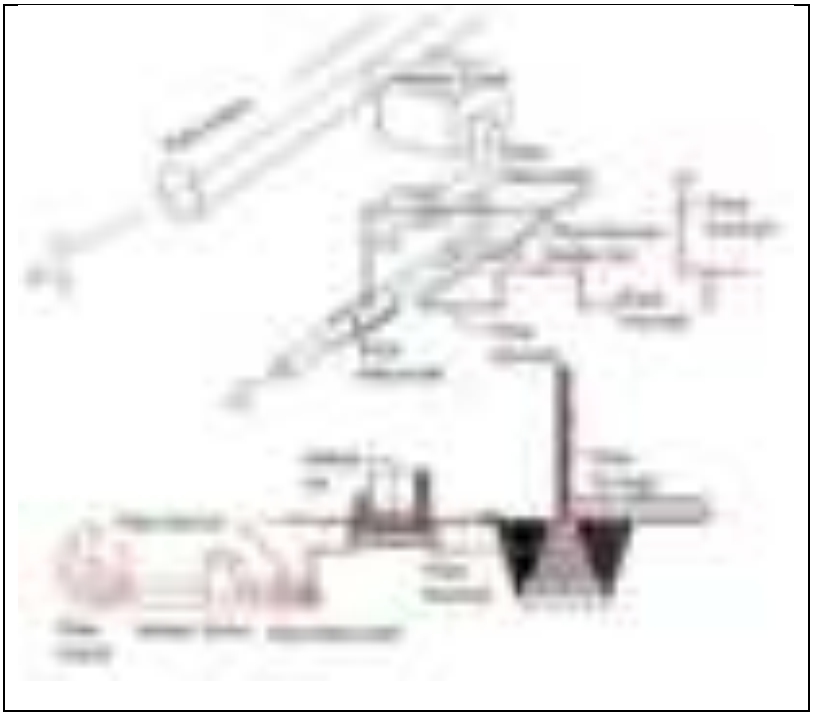
Gambar 2.7 Sistem *Radial*

2.2.3 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan distribusi air bersih merupakan rangkaian pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari reservoir atau sumber penampungan menuju konsumen. Secara hierarki, sistem perpipaan disusun berdasarkan kapasitas aliran dan fungsi pelayananya. Semakin tinggi tingkat hierarki pipa, maka semakin besar debit air yang dialirkan serta semakin besar pula diameter pipanya.

Secara umum, hierarki sistem perpipaan distribusi terdiri dari:

1. Pipa Induk
2. Pipa Sekunder (Retikulasi)
3. Pipa Service



Sumber: Darmasetiawan, 2025

Gambar 2.8 Hierarki Sistem Perpipaan

1. Pipa Induk atau Pipa Primer

   Pipa induk merupakan pipa utama yang menghubungkan reservoir atau tempat penampungan air dengan jaringan distribusi dibawahnya. Pipa ini memiliki diameter paling besar dibandingkan jenis pipa lainnya karena berfungsi mengalirkan debit air dalam jumlah besar.

2. Pipa Sekunder

   Pipa sekunder atau pipa retikulasi adalah pipa yang menghubungkan pipa induk dengan pipa pelayanan yang berada satu tingkat di bawahnya. Pada sistem distribusi skala besar, pipa retikulasi dapat bercabang lagi menjadi retikulasi yang lebih kecil.

3. Pipa *service*

   Pipa *service* adalah pipa yang menghubungkan pipa retikulasi langsung ke rumah pelanggan. Pipa ini memiliki diameter paling kecil dibandingkan jenis pipa lainnya karena hanya melayani satu atau beberapa unit rumah (Darmasetiawan, 2025)

2.2.4 Sistem Waktu Pengaliran

1. Sistem *Continous*

   Sistem dimana debit air yang ada dapat menyuplai dan mendistribusikan air sesuai dengan kebutuhan pelanggan secara terus menerus selama 24 jam.

2. Sistem *Intermitten*

   Sistem dimana debit air tidak dapat menyuplai dan mendistribusikan air secara terus menerus selama 24 jam, yang disebabkan apabila kuantitas dan tekanan air tidak cukup tersedia, sistem ini cocok untuk daerah yang sumber airnya terbatas.

2.3.DASAR TEORI HIDROLIKA DALAM SISTEM DISTRIBUSI

Sistem distribusi air bersih bekerja berdasarkan prinsip-prinsip hidrolika fluida yang memastikan aliran air dapat mencapai konsumen dengan kualitas, kuantitas dan kontinuitas yang memadai. Dasar-dasar teori yang melandasi perencanaan ini meliputi :

1. Persamaan Kontinuitas

   Didasarkan pada hukum kekekalan massa, di mana jumlah massa air yang mengalir ke dalam suatu sistem harus sama dengan jumlah massa air yang keluar dari sistem tersebut pada interval waktu sama.

2. Karakteristik Aliran Fluida

   Dalam sistem distribusi air bersih, kondisi aliran yang di harapkan adalah aliran turbulen stabil. Parameter utama yang menentukan kelayakan sistem adalah kecepatan aliran (v) yang harus berada dalam rentang ideal 0,3 m/s hingga 2,5 m/s untuk mencegah pengendapan sedimen sekaligus menghindari keausan dinding pipa.

3. *Headloss*

   Fluida yang mengalir didalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan. Tegangan tersebut akan mengakibatkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengairan. Tegangan geser pada dinding pipa merupakan penyebab utama turunnya garis energi pada satuan aliran

(*major losses)* selain pada jenis pipa. Banyak teori yang digunakan salah satunya *Hazen-Williams* dan *Darcy-Weisbach*, persamaannya sebagai berikut :

Persamaan *Darcy-Weishbach* :

$$hf = \text{f x } \frac{L \ X \ V^2}{\text{D X2 g}} \quad \text{. . . . (2.1)}$$

Keterangan:

hf = Kehilangan tekanan primer/mayor (m)

f = Koefisien Darcy

L = Panjang Pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa

g = gravitasi (m/s^2)

Persamaan menurut *Hazen-Williams* :

$$hf = (\frac{\text{Q}}{0{,}2785 \text{ X Chw X } D^{263}}) \quad \text{. . . . (2.2)}$$

$$Q = 0{,}2785 \text{ x } Chw \text{ x } D^{263} \text{ x } S^{0{,}54} \quad \text{. . . . (2.3)}$$

$$h = H - hl \quad \text{. . . . (2.4)}$$

$$S = \frac{\text{hf}}{\text{L}} \quad \text{. . . . (2.5)}$$

Keterangan:

Q = Debit Aliran (m/s)

Chw = Koefisien kekasaran pipa

D = Diameter pipa (m)

S (Slope) = nilai kehilangan *head* tiap panjang pipa ($\frac{\text{h}}{\text{L}}$)

h = Sisa Tekan

H = Beda tinggi tekanan statis yang tersedia antara titik awal dan titik akhir

hf = Kehilangan tekanan air di sepanjang jalur pipa

L = Panjang pipa

Tabel 2.1 Koefisien *Hazen-Williams*

No	Jenis (Material Pipa)	Nilai Perencanaan
1.	*Poly Vinly Chloride (PVC)*	120 – 140
2.	*Medium Density Poly Ethylene (MDPE)*	130
3.	*High Density Poly Ethylene (HDPE)*	130
4.	*Ductile Cast Iron Pipe (DCIP)*	110
5.	Besi Tuang atau *Cast Iron (CIP)*	110
6.	*Galvanized Iron Pipe (GIP)*	110
7.	*Steel Pipe* (Pipa Baja)	110

Sumber: Dharmasetiawan, 2004

Dalam Penelitian ini, Jaringan distribusi air bersih di Perumahan Borneo *residence* seluruhnya menggunakan material pipa *Poly Vinyl Chloride (PVC).* Pipa PVC merupakan jenis pipa yang paling umum digunakan dalam sistem distribusi air bersih skala perumahan diindonesia karena memiliki sifat ringan, tidak berkarat, tahan terhadap korosi, serta memiliki permukaan dalam yang halus. Berdasarkan Tabel 2.1 diatas, nilai koefisen kekasaran *Hazen-Williams* untuk material pipa PVC yang digunakan dalam pemodelan EPANET 2.2 pada penelitian ini ditetapkan sebesar 120.

2.4.KEBUTUHAN AIR

Kebutuhan air adalah kapasitas air yang dibutuhkan secara normal oleh manusia untuk memenuhi hajat hidupnya sehari-hari. Dibagi dalam dua klasifikasi pemakaian air, yaitu untuk keperluan domestik dan non domestik.

2.4.1 Kebutuhan Air Domestik

Kepentingan air domestik mengacu pada keperluan air bersih dalam suatu negara untuk berbagai keperluan. Biasanya peneliti mempelajari lokasi dan

ketersediaan sambungan air bersih. Kebutuhan air diperhitungkan berdasarkan data yang tersedia yang secara akurat mewakili atribut dan perluasan individu yang memanfaatkan air bersih. Standar air bersih untuk sambungan rumah diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Air Bersih

No	Keterangan	Jumlah penduduk (orang)	Kebutuhan air bersih (lt/hari/orang)
1.	Metropolitan	Diatas 1 juta	<150
2.	Besar	500.00 – 1.000.000	120 – 150
3.	Sedang	100.000 – 500.000	100 – 120
4.	Kecil	20.000 – 100.000	80 – 120
5.	Desa	Kurang dari 20.000	60-80

Sumber: Permen PU No.18/PRT /M/2007

Rumus Perhitungan bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Perhitungan Kebutuhan air domestik

No	Sambungan dilayani	Kebutuhan air perkapita	Presentase jumlah penduduk yang dilayani
1.	Rumah	130 lt/orang/hari	70%
2.	Hidran	30 lt/orang/hari	10%

Sumber: Norastina & Effendi, 2007

Memasukan perhitungan kehilangan air ke dalam proyeksi kebutuhan air sangat penting untuk mencegah penurunan proyeksi alokasi air. Tingkat kebocoran atau kehilangan air bervariasi antara 20% dan 30% untuk kota kecil, menengah, dan besar.

2.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan non-domestik, yang mencakup kebutuhan sosial dan industri, melibatkan berbagai fasilitas non-domestik seperti pendidikan, perkantoran,

perdagangan fasilitas kesehatan serta tempat ibadah. Perhitungan kebutuhan domestik, dengan kisaran antara 20% hingga 30% bagi golongan kota kecil, kota sedang, dan kota besar.

30% x (keperluan air sambungan rumah + kebutuhan air hidran umum)

Keperluan air non domestik dikategorikan pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Kebutuhan air non domestik

No	Sektor	Besaran satuan
1.	Sekolah	10 liter
2.	Rumah Sakit	200 liter
3.	Puskesmas	2000 liter
4.	Masjid	2000 liter
5.	Kantor	10 liter
6.	Pasar	1200 liter
7.	Hotel	150 liter
8.	Rumah Makan	100 liter
9.	Kompleks Militer	60 liter
10.	Kawasan indusri	0,2 – 0,8 liter
11.	Kawasan Wisata	0,1 – 0.3 liter

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 1998

2.4.3 Pola Kebutuhan Air

Kebutuhan air tidak akan berubah sesuai dengan perubahan musim dan aktivitas masyarakat. Umumnya Kebutuhan air dibagi dalam tiga kelompok yaitu sebagai berikut:

1. Kebutuhan Harian Rata-Rata (Qr)

   Kebutuhan harian rata-rata adalah kebutuhan air untuk keperluan domestik dan non domestik termasuk kehilangan airnya. Dihitung berdasarkan kebutuhan air

rata-rata perorang perhari yang dihitung dari pemakaian air setiap jam selama sehari (24 jam).

2. Kebutuhan Pada Jam Puncak (Qpeak)

   Kebutuhan pada jam puncak adalah pemakaian air tertinggi dalam satu hari. Kebutuhan air pada jam puncak dihitung berdasarkan kebutuhan air harian rata-rata dikalikan dengan faktor jam puncak dengan rumus sebagai berikut:

   Qpeak = Fpeak x Qr . . . . (2.6)

   Nilai faktor jam puncak (Fpeak)=1,5 – 2

3. Kebutuhan Harian Maksimum (Qmax)

   Kebutuhan Harian Maksimum adalah banyaknya air yang dibutuhkan terbesar dalam satu tahun. Kebutuhan harian maksimum dihitung berdasarkan kebutuhan harian rata-rata dikalikan dengan faktor pengali hari maksimum dengan rumus sebagai berikut:

   Qmax = (1,15 – 1,25 x Kebutuhan air bersih) . . . . (2.7)

2.5. EPANET 2.2 (2020)

EPANET 2.2 adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir didalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri dari pipa, *Junction* (titik koneksi pipa), pompa, katup, dan tangki air atau reservoir. EPANET 2.2 menjajaki aliran air ditiap pipa, kondisi tekanan air tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir didalam pipa selama pengaliran, sebagai tambahan, usia air (*water age*) dan pelacakan sumber dapat disimulasikan.

EPANET 2.2 (2020) menjajaki aliran air tiap pipa, kondisi tekanan air ditiap titik dan konsentrasi bahan kimia yang mengalir didalam pipa selama dalam periode pengaliran. EPANET 2.2 didesain sebagai alat untuk mencapai dan mewujudkan pemahaman tentang pergerakan analisis berbagai aplikasi jaringan distribusi,

sebagai contoh untuk pembuatan desain, kalibrasi model hidrolis, analisis sisa klor dan analisa pelanggan.

2.5.1 Kemampuan Model Hidrolis

EPANET 2.2 adalah alat bantu analisa hidrolis yang didalamnya terkandung kemampuan seperti :

1. Kemampuan analisis yang tidak terbatas pada penempatan jaringan.
2. Perhitungan harga kekasaran pipa menggunakan persamaan *Hazen-Williams, Darcy-Weisbach* atau *Chezy-Manning.*
3. Termasuk juga minor *head losses* untuk *bend* dan *fitting.*
4. Pemodelan terhadap kecepatan pompa yang konstan maupun variabel.
5. Menghitung energi pompa

2.5.2 Simulasi Jaringan Perpipaan

Untuk melakukan simulasi jaringan pipa dengan EPANET 2.2 diperlukan beberapa asumsi, diantaranya:

1. Kondisi jaringan dan kualitas dianggap baik.
2. EPANET 2.2 membaca reservoir sebagai sumber air yang tidak terbatas pada jaringan sehingga sumber air seperti sungai, danau, air tanah dan lainnya dilambangkan sebagai reservoir.
3. EPANET 2.2 membaca data input pipa terisi penuh dengan arah aliran dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah karena itu pipa yang akan kita simulasikan dalam keadaan terisi penuh setiap waktunya.
4. Input data dalam menganalisis sistem hidrolis pada jaringan pipa diperlukan input data berupa panjang pipa, kekasaran pipa, elevasi dan kebutuhan air(*base demand*), fluktuasi pemakaian air, head dititik pengambilan.

Base demand = Jumlah SR x Kebutuhan Air

$$\textit{Demand Multiplier} = \frac{100}{100 - \text{NRW}} \quad \ldots . \ (2.8)$$

$$\textit{Flow Factor} = \frac{\text{Debit perjam}}{\text{Debit rata} - \text{rata}} \quad \ldots . \ (2.9)$$

$$\textit{Head Factor} = \frac{\text{Tekanan} + \text{elevasi}}{\text{Elevasi}} \quad \ldots . \ (2.10)$$

(Rossman, 2000)

2.5.3 Tahapan Simulasi menggunakan EPANET 2.2

Dalam melakukan simulasi jaringan distribusi air bersih menggunakan EPANET 2.2, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan secara sistematis, yaitu sebagai berikut:

1. Persiapan Data Input

   Sebelum simulasi dilakukan, seluruh data teknis jaringan harus disiapkan terlebih dahulu. Data yang diperlukan meliputi gambar *as-built* jaringan perpipaan, panjang pipa, diameter pipa, jenis material pipa (koefisien kekasaran *Hazen-Williams*), elevasi setiap titik (*Junction*), kapasitas reservoir, serta kebutuhan air (*base demand*) pada setiap titik.
2. Pembuatan Jaringan (*Network Drawing*)

   Jaringan perpipaan digambarkan secara digital pada lembar kerja EPANET 2.2 dengan cara menempatkan *Junction* (titik simpul) dan *link* (pipa) sesuai dengan denah jaringan distribusi *eksisting* di lapangan. Setiap komponen seperti reservoir, pipa, dan *Junction* diberi identitas dan koordinat yang sesuai.
3. Input Data Teknis

   Setelah jaringan digambarkan, data teknis dimasukan pada setiap elemen jaringan, meliputi :

   a. Pada reservoir : diinput nilai head (elevasi muka air)
   b. Pada pipa : diinput panjang, diameter, dan koefisien kekasaran (Chw).
   c. Pada *Junction* : diinput elevasi dan *base demand* (kebutuhan air)

4. Pengaturan Pola Pemakaian Air (*Pattern*)

   Pola fluktuasi pemakaian air (*flow pattern*) dimasukan ke dalam EPANET 2.2 untuk mencerminkan variasi kebutuhan air dari waktu ke waktu selama 24 jam. Pola ini dinyakan dalam bentuk faktor pengali terhadap kebutuhan air rata-rata.

5. Menjalankan Simulasi (*Run Simulation*)

   Setelah semua data diinput, simulasi dijalankan dengan memilih menu *Run Analysis* pada EPANET 2.2. Program akan menghitung secara otomatis nilai tekanan pada setiap titik dan debit aliran pada setiap pipa yang menggunakan persamaan hidrolika yang telah diatur.

6. Membaca dan Menganalisis Output

   Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan peta jaringan berwarna. *Output* utama yang dibaca adalah:

   a. Tekanan (*Pressure*)
   b. Debit aliran (*Flow*)
   c. Kecepatan aliran (*Velocity*)

2.6. STANDAR PELAYANAN JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH

2.6.1 Standar Tekanan Air (*Pressure*)

Tekanan air adalah gaya per satuan luas yang dihasilkan oleh ketinggian air dalam jaringan distribusi sehingga air dapat mengalir ke konsumen. Dalam perencanaan dan pelayanan SPAM, tekanan air yang memadai dibutuhkan agar:

1. Air dapat mencapai rumah paling ujung dari jaringan.
2. Kualitas distribusi air tetap terjaga.
3. Sistem distribusi bekerja tanpa gangguan akibat tekanan yang terlalu rendah atau terlalu tinggi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih, tekanan air dalam jaringan distribusi harus memenuhi standar teknis yang telah ditetapkan .

1. Tekanan minimum pelayanan adalah sekitar 5-10 mka.
2. Tekanan maksimum dikategorikan berdasarkan jenis pipa untuk pipa PVC adalah 60-80 mka.

Tabel 2.5 Kriteria Pipa Distribusi

Sumber: Permen PU No.18/PRT /M/2007

Berdasarkan Tabel 2.5, batas tekanan minimum yang disyaratkan adalah 0,5–1,0 atm pada titik jangkauan pelayanan terjauh. Dengan konversi 1 atm = 10,33 mka, maka nilai tersebut setara dengan kisaran 5,17–10,33 mka, yang dibulatkan menjadi standar 5–10 mka pada penelitian ini. Adapun tekanan maksimum untuk pipa PVC atau ACP adalah 6–8 atm, setara dengan 62–83 mka, dibulatkan menjadi 60–80 mka.

2.6.2 Standar Debit Air (*Flow*)

Debit air adalah volume air yang mengalir melalui jaringan distribusi dalam satuan waktu tertentu . Standar pelayanan debit air mensyaratkan bahwa debit yang tersedia harus mampu memenuhi kebutuhan penghuni berdasarkan jumlah sambungan rumah dan kebutuhan perkapita.

Debit total jaringan harus mencukupi kebutuhan seluruh konsumen dalam periode puncak penggunaan air harian. Kriteria pelayanan ini mengikuti ketentuan bahwa SPAM harus mampu menjamin kuantitas air yang paling sedikit mencukupi kebutuhan pokok air minum dan air bersih sehari-hari sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih. Secara teknis, kapasitas debit jaringan dinyatakan memenuhi standar apabila seluruh *base demand* pada setiap *Junction* dalam pemodelan EPANET 2,2 terpenuhi dengan status simulasi *Run Successful* tanpa pesan peringatan (*error*).

2.6.3 Standar Kecapatan Aliran Air (*Velocity*)

Kecepatan aliran air (*velocity*) di dalam pipa distribusi merupakan salah satu parameter yang penting dalam evaluasi dan perencanaan jaringan pipa air bersih. Kecepatan aliran air ini harus dijaga agar tetap berada dalam batas aman, yaitu tidak boleh terlalu lambat dan tidak boleh terlalu cepat. Batas kecepatan minimal di perlukan untuk mencegah terjadinya pengendapan sedimen di dalam pipa. Jika air mengalir terlalu lambat, partikel-partikel kecil yang terbawa air akan mengendap dan lama-kelamaan bisa menyumbat atau memperkecil diameter pipa.

Batas kecepatan maksimal diperlukan untuk melindungi pipa dari kerusakan fisik. Jika air mengalir terlalu cepat, akan terjadi gesekan yang tinggi antara air dan dinding pipa yang dapat menyebabkan pengikisan (erosi pipa). Selain itu, kecepatan yang terlalu tinggi juga berbahaya karena bisa memicu fenomena hantaman air (*water hammer*) yang dapat membuat pipa pecah saat kran ditutup

mendadak. Berdasarkan Tabel 2.5 (Kriteria Pipa Distribusi) Permen PU No. 18/PRT/M/2007, kecepatan aliran air minimum yang disyaratkan adalah 0,3–0,6 m/s, sedangkan kecepatan maksimum untuk pipa berbahan PVC atau ACP adalah 3,0–4,5 m/s. Pada penelitian ini, batas kecepatan minimum 0,3 m/s digunakan sebagai acuan utama evaluasi, mengingat permasalahan yang ditemukan pada jaringan *eksisting* adalah kecepatan aliran yang berada di bawah standar minimum, bukan melampaui batas maksimum.

2.7. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan antara lain:

1. Fitriyati Agustina (2025) Melakukan penelitian berjudul ”EVALUASI KEBUTUHAN DISTRIBUSI AIR BERSIH DI PERUMAHAN BUMI CITRA LESTARI KECAMATAN SUNGAI KUJANG KOTA SAMARINDA MENGGUNAKAN APLIKASI EPANET.” Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan air berdasarkan proyeksi jumlah penduduk, menganalisis tekanan dan debit air pada jaringan distribusi dan mengevaluasi apakah sistem telah memenuhi standar pelayanan. Hasil penelitian menunjukan bahwa terdapat beberapa titik jaringan yang belum memenuhi kriteria tekanan dan kecepatan aliran sesuai standar yang berlaku, sehingga diperlukan perbaikan atau penyesuaian sistem distribusi untuk menjamin pelayanan air bersih yang optimal.
2. Suko Harjoko, dkk. (2024) penelitian berjudul ”EVALUASI SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AIR PERUMDA GIRI TIRTA KABUPATEN GRESIK MENGGUNAKAN EPANET 2.2 DI PERUMAHAN GREENLAND MEGANTI” bertujuan untuk mengevaluasi kondisi jaringan distribusi air *eksisting* dengan menggunakan simulasi EPANET 2.2. Penelitian ini menganalisis tekanan air pada setiap *node*, kecepatan aliran dalam pipa dan debit aliran pada jaringan distribusi. Hasil simulasi menunjukan bahwa masih terdapat beberapa bagian yang tidak memenuhi kriteria tekanan minimum dan

kecepatan aliran yang disyaratkan dalam standar perencanaan, sehingga diperlukan alternatif solusi seperti perubahan diameter pipa atau pengaturan ulang jaringan distribusi.

3. Adhika Widya Laksana dan Djoni Irianto (2021) penelitian berjudul ”EVALUASI JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH DI KECAMATAN KWADUNGAN, KABUPATEN NGAWI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE EPANET 2.0.” Penelitian ini bertujuan menganalisis sistem jaringan distribusi air bersih di kecamatan Kwadungan untuk mengatasi kendala tekanan rendah, kehilangan air fisik (kebocoran), dan distribusi yang belum optimal. Untuk mengetahui nilai headloss (mayor dan minor) pada pipa distribusi dan memproyeksikan kebutuhan air penduduk dan fasilitas umum untuk periode perencanaan 10 tahun (2020 – 2030). Hasil simulasi proyeksi kebutuhan air pada tahun 2030 adalah sebesar 1,290 liter/detik untuk kebutuhan harian rata-rata, 1,419 liter/detik untuk kebutuhan maksimum, dan 2,013 liter/detik untuk kebutuhan jam puncak. Hasil simulasi EPANET 2.0 menunjukan adanya perbedaan nilai headloss yang cukup tinggi dibandingkan pengukuran lapangan, serta kecepatan aliran yang belum memenuhi standar, sehingga jaringan tersebut dinyatakan belum dapat dikembangkan lebih lanjut tanpa perbaikan.

Tabel 2.6 Perbedaan Penelitian

Aspek	**Agustina (2025)**	**Harjoko dkk (2024)**	**Laksana & Irianto (2021)**	**Penelitian Saya**
Lokasi	Perum. Bumi Citra Lestari, Samarinda	Perum. Greenland Meganti, Gresik	Kec. Kwadungan, Ngawi	Perum. Borneo Residence, Bulungan
Versi EPANET	EPANET (tidak disebut versi)	EPANET 2.2	EPANET **2.0**	EPANET **2.2**
Basis kebutuhan air	Proyeksi jumlah penduduk	Data eksisting (tidak diproyeksi)	Proyeksi 10 tahun (2020–2030)	Data base demand aktual dari PDAM (bukan proyeksi)

Horison waktu	Kondisi saat ini	Kondisi saat ini	Kondisi saat ini + proyeksi masa depan	Kondisi saat ini (eksisting, beroperasi sejak 2022)
Validasi lapangan	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Ada — dibandingkan dengan pengukuran *headloss* lapangan	Tidak ada pengukuran primer (murni data sekunder PDAM)
Rekomendasi teknis	Perbaikan/penyesuaian sistem (umum)	Alternatif solusi (ganti diameter/atur ulang jaringan) — umum, tidak diuji ulang skenarionya	Kesimpulan: jaringan belum layak dikembangkan tanpa perbaikan	Skenario reduksi diameter spesifik per segmen pipa + resimulasi untuk verifikasi efektivitas
Konsep hasil akhir	Beberapa titik tidak memenuhi standar	Beberapa bagian tidak memenuhi standar	Kecepatan tidak memenuhi standar	Memperkenalkan konsep "*acceptable margin velocity*" — toleransi teknis saat reduksi diameter maksimum belum menembus standar minimum

Berdasarkan ketiga penelitian terdahulu di atas, dapat diketahui bahwa evaluasi jaringan distribusi air bersih menggunakan simulasi EPANET telah banyak dilakukan pada berbagai kawasan permukiman dengan permasalahan yang relatif serupa, yaitu ketidaksesuaian parameter tekanan dan/atau kecepatan aliran terhadap standar yang berlaku. Namun demikian, terdapat beberapa perbedaan mendasar antara penelitian-penelitian tersebut dengan penelitian ini.

Pertama, dari segi basis data kebutuhan air, penelitian Fitriyati Agustina (2025) dan Adhika Widya Laksana & Djoni Irianto (2021) menghitung kebutuhan air berdasarkan proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk, bahkan Laksana & Irianto memproyeksikan kebutuhan hingga periode 10 tahun ke depan (2020–2030). Penelitian ini berbeda karena menggunakan data base demand aktual yang diperoleh langsung dari PDAM Kabupaten Bulungan, sehingga mencerminkan kondisi riil pemakaian air pada jaringan yang telah beroperasi sejak tahun 2022, bukan estimasi kebutuhan di masa mendatang.

Kedua, dari segi rekomendasi teknis, penelitian Suko Harjoko dkk (2024) hanya mengusulkan alternatif solusi secara umum berupa perubahan diameter pipa atau pengaturan ulang jaringan tanpa menguji efektivitas skenario tersebut melalui simulasi ulang. Penelitian ini memberikan rekomendasi teknis yang terukur, yaitu skenario reduksi diameter pada setiap segmen pipa bermasalah secara spesifik (22 dari 29 segmen), yang kemudian disimulasikan ulang untuk memverifikasi tingkat efektivitasnya terhadap peningkatan kecepatan aliran.

Ketiga, penelitian ini juga menghasilkan temuan konseptual berupa *acceptable margin velocity*, yaitu kondisi di mana kecepatan aliran pada pipa pelayanan blok perumahan tetap berada di bawah standar minimum meskipun diameter telah direduksi ke batas teknis teraman (50 mm), namun tetap dinyatakan dapat ditoleransi demi mempertahankan keamanan tekanan dan kontinuitas pasokan air. Konsep toleransi teknis semacam ini tidak dibahas secara eksplisit pada ketiga penelitian terdahulu, yang umumnya berhenti pada simpulan "tidak memenuhi standar" tanpa menawarkan batas toleransi praktis bagi pengelola jaringan.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki kebaruan (novelty) pada aspek penggunaan data eksisting aktual sebagai basis evaluasi (bukan proyeksi), pengujian efektivitas skenario perbaikan melalui resimulasi kuantitatif, serta perumusan batas toleransi teknis kecepatan aliran pada jaringan pelayanan skala perumahan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Perumahan Borneo *Residence* yang terletak di Kabupaten bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Secara geografis, wilayah ini terletak pada koordinat 2°49'51.95"N 117°23'16.50"E. Perumahan Borneo *Residence* merupakan kawasan permukiman yang telah mendapatkan layanan distribusi air bersih dan menjadi objek evaluasi dalam penelitian ini.

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan pertimbangan bahwa Perumahan Borneo *Residence* memiliki jaringan distribusi air bersih yang perlu dievaluasi secara teknis untuk memastikan tekanan, debit dan kecepatan aliran air pada setiap titik jaringan telah memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007.

Sumber: Google Earth, 2026

Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

3.2 PENDEKATAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analitik. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data teknis jaringan distribusi air bersih berupa debit aliran, tekanan, dan kecepatan (*velocity*) secara numerik menggunakan simulasi perangkat lunak EPANET 2.2.

Metode deskriptif analitik digunakan untuk menggambarkan kondisi hidrolis jaringan distribusi air bersih *eksisting* secara sistematis dan terukur, kemudian membandingkan hasilnya dengan standar yang berlaku.

3.3 PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui teknik pengumpulan data sekunder yang di peroleh dari PDAM Kabupaten Bulungan. Data-data tersebut diperlukan sebagai masukan (*input*) dalam pemodelan jaringan distribusi air bersih pada sofware EPANET 2.2.

3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat komputer, antara lain :

a. Perangkat Keras (*Hardware*)
    1. Laptop, digunakan untuk pengolahan data dan pemodelan simulasi.
b. Perangkat Lunak (*Software*)
    1. Software EPANET 2.2, digunakan untuk simulasi hidrolis jaringan distribusi air bersih.
    2. *AutoCad,* digunakan untuk membaca dan menginterprestasikan gambar *as-built* jaringan pipa

3.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data sekunder. Data sekunder diperoleh dengan cara melakukan

koordinasi dan permohonan data secara resmi kepada PDAM Kabupaten Bulungan. Seluruh data yang diperoleh kemudian diverifikasi kelengkapannya sebelum digunakan sebagai masukan dalam pemodelan EPANET 2.2.

3.3.3 Data Primer

Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengambilan data primer berupa pengukuran langsung dilapangan. Hal ini dikarenakan seluruh data teknis jaringan distribusi air bersih di perumahan Borneo Rsidence telah tersedia secara lengkap pada dokumen resmi yang dimiliki oleh PDAM Kabupaten Bulungan, sehingga data sekunder dinilai sudah cukup representatif untuk digunakan sebagai basis pemodelan simulasi hidrolis.

3.3.4 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait tanpa melakukan pengukuran langsung dilapangan. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Gambar *as-built* Jaringan distribusi air bersih yang mencakup denah jaringan pipa yang diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan.
2. Data spesifikasi teknis pipa yang digunakan, seperti jenis pipa, diameter pipa, dan panjang pipa, diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan.
3. Data *Base Demand* pada setiap titik simpul (*Junction*) jaringan yang mencerminkan kebutuhan air aktual pada masing-masing blok pelayanan, diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan.
4. Data Elevasi setiap titik simpul (*Junction*) yang mencerminkan kondisi topografi rill di lokasi penelitian, Diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan.

Seluruh data sekunder tersebut diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan dalam bentuk file model jaringan EPANET 2.2 (.inp) yang telah berisi data jaringan distribusi air bersih *eksisting*. Model tersebut mencakup data jaringan pipa, *Junction*, reservoir, panjang pipa, diameter pipa, elevasi, *base demand*, serta parameter hidrolis lainnya. Data tersebut kemudian diverifikasi oleh peneliti dan digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi serta evaluasi kinerja jaringan

distribusi air bersih menggunakan software EPANET 2.2. Pada tahap awal pengumpulan data, peneliti juga memperoleh data fluktuasi pemakaian air selama 24 jam dari PDAM Kabupaten Bulungan. Namun, karena simulasi hidrolis pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan Single Period Analysis yang merepresentasikan kondisi kebutuhan air rata-rata (*base demand*), maka data fluktuasi tersebut tidak digunakan secara langsung sebagai input dalam proses simulasi.

3.4 TAHAPAN ANALISIS DATA

Tahapan analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa langkah berikut:

1. Analisis data *eksisting*

   Tahap pertama adalah melakukan analisis terhadap data *eksisting* yang diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan. Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan verifikasi seluruh data teknis jaringan, meliputi jumlah dan panjang segmen pipa, diameter pipa, material pipa, elevasi setiap titik simpul serta total *base demand* yang harus dilayani oleh sistem distribusi.
2. Pemodelan jaringan pada EPANET 2.2

   Setelah data *eksisting* teridentifikasi sudah lengkap, seluruh data tersebut diinput ke dalam software EPANET 2.2 melalui tahapan berikut:
   a. Penggambaran skematik jaringan perpipaan secara digital pada lembar kerja EPANET 2.2, meliputi penempatan titik simpul (*Junction*), pipa (*link*), reservoir dan pompa sesuai dengan denah jaringan *eksisting*.
   b. Input data teknis pada setiap elemen jaringan, meliputi elevasi dan *base demand* pada setiap *Junction*, serta panjang, diameter dan koefisien kekasaran pada setiap segmen pipa.
   c. Verifikasi konektifitas jaringan untuk memastikan tidak ada jalur yang terputus sebelum simulasi dijalankan.

3. Pelaksanaan simulasi (*Running Simulation*)

   Setelah seluruh data dipastikan lengkap dan jaringan terkoneksi dengan benar, simulasi hidrolis dijalankan dengan menekan tombol *Run* pada EPANET 2.2. Apabila simulasi berhasil (*Run Successful*), software akan secara otomatis mengkalkulasi dan mengeluarkan nilai tekanan pada setiap *Junction,* kecepatan aliran dan debit pada setiap segmen pipa.

4. Evaluasi Hasil Simulasi

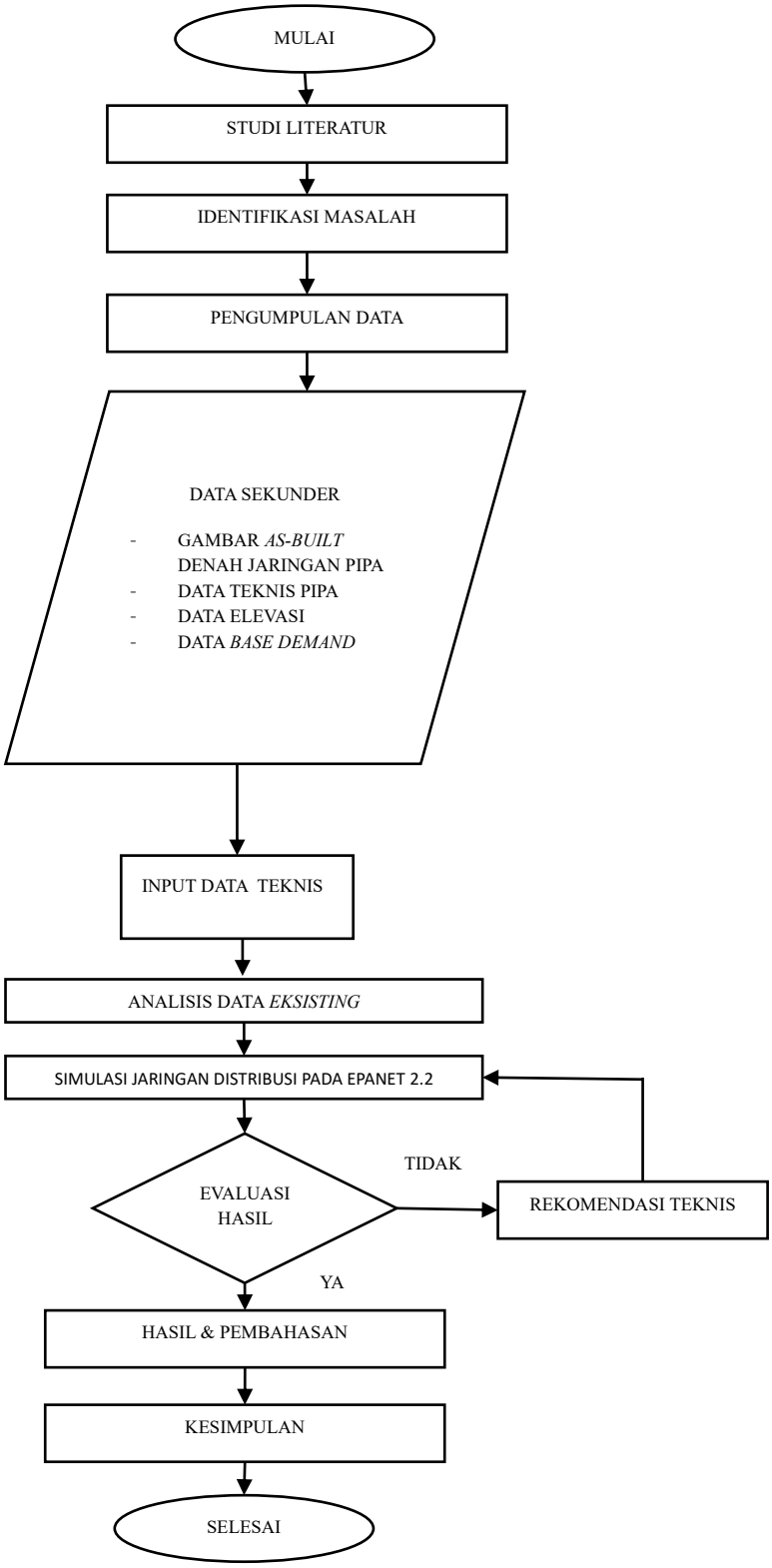
   Hasil simulasi yang diperoleh kemudian dievaluasi dengan cara membandingkan nilai tekanan, kecepatan aliran dan debit air hasil simulasi EPANET 2.2 dengan standar Permen PU No.18/PRT/M/2007. Apabila hasil evaluasi menunjukan bahwa terdapat parameter yang tidak memenuhi standar, maka dilakukan perumusan rekomendasi teknis perbaikan jaringan.

5. Rekomendasi Teknis

   Apabila hasil evaluasi pada tahap sebelumnya menunjukan ketidaksesuaian dengan standar, maka dilakukan perumusan rekomendasi teknis perbaikan jaringan distribusi. Rekomendasi teknis yang diberikan berupa skenario penyesuaian geometri jaringan, seperti reduksi diameter pipa pada segmen-segemen yang mengalami permasalahan, kemudian dilakukan *running* ulang pada EPANET 2.2 untuk memverifikasi efektivitas skenario perbaikan tersebut.

3.5 BAGAN ALIR PENELITIAN

Bagan alir penelitian menggambarkan tahapan sistematis yang dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari studi literatur hingga penarikan kesimpulan. Secara umum, alur penelitian terdiri dari tahap identifikasi masalah, pengumpulan data sekunder, input data teknis ke dalam software EPANET 2.2, analisis data *eksisting*, simulasi jaringan distribusi, dan evaluasi hasil simulasi dengan standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007. Serta rekomendasi teknis apabila di temukan ketidaksesuaian antara hasil simulasi dengan Standar yang digunakan. Adapun bagan alir penelitian secara lengkap dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Perumahan Borneo *Residence* yang terletak di Kabupaten bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Perumahan ini terdiri dari 245 unit rumah dan mulai beroperasi sejak bulan april tahun 2022 .Secara geografis, wilayah ini terletak pada koordinat 2°49'51.95"N 117°23'16.50"E. Perumahan Borneo *Residence* merupakan kawasan permukiman yang telah mendapatkan layanan distribusi air bersih dan menjadi objek evaluasi dalam penelitian ini. Kondisi topografi pada lokasi penelitian memiliki variasi elevasi lapangan berkisar antara 12 meter hingga 19 meter di atas permukaan laut.

Sumber: Google Earth, 2026

Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian

4.2 KONDISI *EKSISTING* JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH

Pada sub-bab ini, dijelaskan mengenai data sekunder sistem jaringan distribusi air bersih *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* yang diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan. Data ini menjadi input dasar (input data) dalam pemodelan software EPANET 2.2. Data sekunder tersebut diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan dalam bentuk file model EPANET 2.2 (.inp) yang telah memuat seluruh parameter jaringan distribusi air bersih *eksisting*. Peneliti menggunakan model tersebut sebagai dasar simulasi, kemudian melakukan verifikasi terhadap data jaringan sebelum menjalankan simulasi hidrolis dan melakukan evaluasi berdasarkan standar yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Gambar *As-Built* denah jaringan pipa

   Gambar ini berfungsi untuk mengetahui jalur distribusi air bersih, rute pipa, serta titik pembagian air ke setiap unit rumah di Perumahan Borneo *Residence*, dilakukan penggambaran denah jaringan pipa secara digital menggunakan *software AutoCad*. Penggambaran dilakukan dengan menggunakan gambar *master plan* Perumahan Borneo *Residence* sebagai peta dasar, kemudian jalur jaringan pipa distribusi air bersih ditambahkan ke dalam gambar tersebut berdasarkan data teknis jaringan pipa yang diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan.

   Hasil penggambaran ini kemudian menjadi acuan utama dalam proses pemodelan jaringan distribusi pada software EPANET 2.2, karena memberikan gambaran visual yang jelas mengenai posisi setiap *Junction*, segmen pipa, dan reservoir sesuai kondisi *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.

Sumber: Peneliti, 2026

Gambar 4.2 Peta Denah Pipa

2. Data Teknis Pipa (*Links*)

   Jaringan distribusi air bersih *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* menggunakan material pipa berjenis *Poly vinyl Chloride* (PVC). Di dalam pemodelan EPANET 2.2, koefisien kekasaran (*Roughness*) untuk material pipa PVC ditetapkan sebesar 120 berdasarkan standar *Hazen-Williams*. Jaringan ini terdiri dari beberapa variasi diameter dan panjang pipa yang berfungsi mengalirkan air ke setiap blok rumah warga.

Tabel 4.1 Data Teknis Pipa

ID Pipa	Panjang (m)	Diameter (mm)	Material	*Roughness*
P-1	143.27	110	PVC	120
P-2	141.16	63	PVC	120
P-3	299.22	90	PVC	120
P-4	10.77	90	PVC	120
P-5	9.22	90	PVC	120
P-6	26.87	90	PVC	120
P-7	7.07	90	PVC	120
P-8	27.59	90	PVC	120
P-9	40.64	90	PVC	120

P-10	5.66	90	PVC	120
P-11	27.59	90	PVC	120
P-12	7.81	90	PVC	120
P-13	39.56	63	PVC	120
P-14	70.62	63	PVC	120
P-15	63.03	63	PVC	120
P-16	101.86	63	PVC	120
P-17	109.62	63	PVC	120
P-18	111.76	63	PVC	120
P-19	113.86	63	PVC	120
P-20	101.82	63	PVC	120
P-21	102.53	63	PVC	120
P-22	101.83	63	PVC	120
P-23	108.21	63	PVC	120
P-24	155.75	63	PVC	120
P-25	42.45	63	PVC	120
P-26	30.41	63	PVC	120
P-27	26.17	63	PVC	120
P-28	53.08	63	PVC	120
P-29	70.71	63	PVC	120

Sumber: PDAM Kabupaten Bulungan, 2026

3. Debit Kebutuhan Air *Eksisting* (*Base Demand)*

   Sistem distribusi *eksisting* ini direncanakan untuk melayani 245 unit rumah. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari PDAM, pembebanan debit atau *Base Demand* pada setiap simpul jaringan (*Junction*) tidak diseragamkan, melainkan menggunakan metode beban titik bervariasi antara 0,1 LPS hingga 1,0 LPS. Variasi nilai ini ditentukan oleh PDAM berdasarkan kerapatan jumlah sambungan rumah di tiap blok pelayanan. Jika diakumulasikan, total debit pasokan *eksisting* yang di alirkan ke dalam sistem adalah sebesar 12,8 LPS.

Tabel 4.2 Data *Base Demand*

Node ID	***Base Demand (LPS)***
Junction 1	0.5
Junction 2	0.5
Junction 3	0.1
Junction 4	0.5
Junction 5	0.5
Junction 6	0.5
Junction 7	0.1
Junction 8	0.5
Junction 9	0.5
Junction 10	0.5
Junction 11	0.5
Junction 12	0.1
Junction 13	0.5
Junction 14	0.5
Junction 15	0.5
Junction 16	0.5
Junction 17	0.1
Junction 18	0.5
Junction 19	0.3
Junction 20	0.5
Junction 21	0.5
Junction 22	0.5
Junction 23	0.1
Junction 24	0.5
Junction 25	0.5
Junction 26	1
Junction 27	0.5

Junction 28	0.5
Junction 29	0.5

Sumber: PDAM Kabupaten Bulungan, 2026

4. Elevasi Setiap titik (*Junction)*

   Elevasi lapangan pada setiap titik simpul (*Junction*) di dalam pemodelan ini diinput berdasarkan kondisi topografi riil di lokasi penelitian yang tercatat pada data PDAM. Ketinggian tanah pada 29 titik simpul di Perumahan Borneo *Residence* memiliki variasi rentang antara 12 meter hingga 19 meter di atas permukaan laut. Perbedaan elevasi antar titik ini nantinya akan sangat memengaruhi besarnya nilai tekanan air (*pressure*) saat simulasi dijalankan.

Tabel 4.3 Data Elevasi Setiap Titik

Node ID	***Elevation*** **(m)**
Junction 1	8
Junction 2	10
Junction 3	10
Junction 4	21
Junction 5	21
Junction 6	21
Junction 7	22
Junction 8	22
Junction 9	22
Junction 10	15
Junction 11	13
Junction 12	11
Junction 13	10
Junction 14	17
Junction 15	13

Junction 16	13
Junction 17	12
Junction 18	12
Junction 19	14
Junction 20	14
Junction 21	19
Junction 22	19
Junction 23	17
Junction 24	18
Junction 25	16
Junction 26	18
Junction 27	19
Junction 28	17
Junction 29	16

Sumber: PDAM Kabupaten Bulungan, 2026

Selain keempat data tersebut, peneliti turut memperoleh data fluktuasi pemakaian air 24 jam dari PDAM Kabupaten Bulungan sebagaimana disebutkan pada sub-bab 3.3.5. Data ini tidak diikutsertakan sebagai input dalam pemodelan EPANET 2.2 karena simulasi pada penelitian ini difokuskan pada kondisi *Single Period Analysis* (kebutuhan rata-rata harian), bukan pada analisis periode diperpanjang (*Extended Period Simulation*) yang mensyaratkan pola fluktuasi jam-jaman sebagai input *demand pattern*.

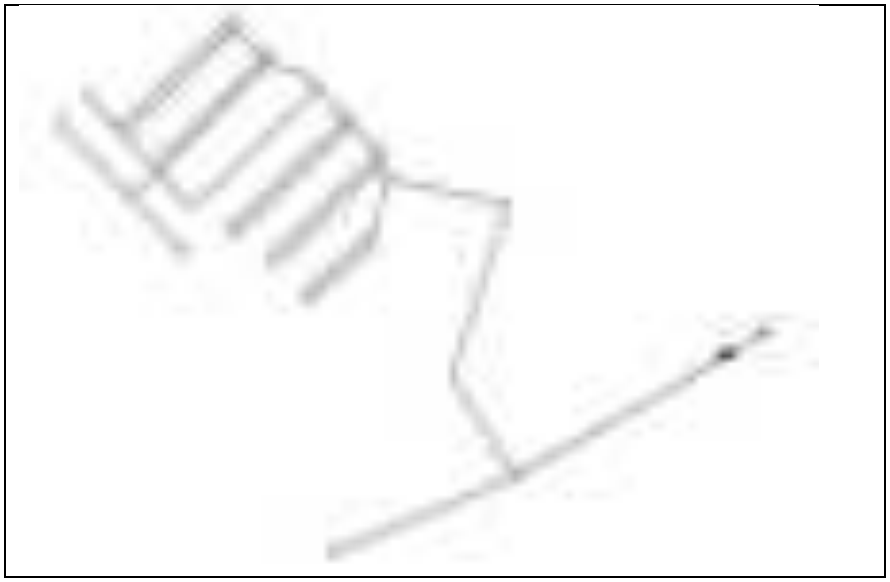
4.3 SIMULASI JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN EPANET 2.2

Setelah seluruh tahapan pengumpulan data sekunder selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah melakukan pemodelan dan simulasi hidrolis. Proses simulasi ini dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) EPANET versi 2.2. Pemodelan komputer ini bertujuan untuk mereplikasi sistem distribusi air bersih di dunia nyata ke dalam sistem digital, sehingga perilaku hidrolis jaringan pipa di

Perumahan Borneo *Residence* dapat diamati dan dianalisis secara terukur. Secara teknis, tahapan simulasi di dalam *software* EPANET 2.2 ini dilakukan melalui beberapa langkah sebagai berikut :

1. Penggambaran Skematik Jaringan (*layouting*)
2. Input Data Kondisi *Eksisting*
3. *Running Simulation*

Sebelum tahapan ketiga (*Running Simulation*), seluruh data jaringan distribusi aksisting yang telah dikumpulkan dari PDAM Kabupaten Bulungan digambar dan dimasukan terlebih dahulu ke dalam software EPANET 2.2. Gambar ini dibuat untuk memastikan bahwa posisi reservoir, pipa-pipa, dan rumah warga sudah tersambung dengan benar sesuai dengan kondisi asli di Perumahan Borneo *Residence*. Pada tahap ini, sofware EPANET 2.2 baru menampilkan gambar kerangka jaringan dan data-data mentah yang sifatnya masih diam. Artinya seluruh data berupa elevasi di setiap titik, panjang pipa, diameter pipa dan data kebutuhan air warga sudah tersimpan di dalam masing-masing komponen, tetapi *sofware* EPANET 2.2 belum berjalan untuk menghitung tekanan, debit dan kecepatan aliran airnya. Bentuk gambar Jaringan pipa *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* sebelum dilakukan *running simulation* dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



Sumber: EPANET 2.2, 2026

Gambar 4.3 Kondisi *Eksisting* di EPANET 2.2 Sebelum *Running*

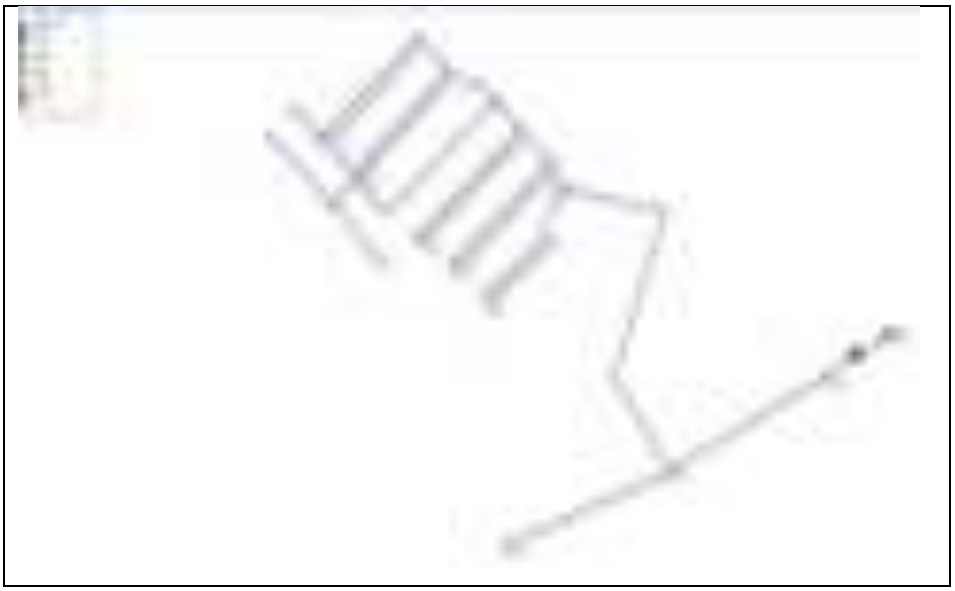
Berdasarkan Gambar 4.3 berikut, jumlah *Junction* ada sebanyak 29 dengan 1 reservoir. Untuk data-data yang dimasukan dalam penggambaran diambil dari data sekunder yang bersumber dari PDAM Kabupaten Bulungan.

Setelah seluruh data dipastikan lengkap dan tidak ada jalur yang terputus, langkah berikutnya adalah melakukan *Running Simulation.* Proses ini dilakukan dengan menekan tombol *Run* pada EPANET 2.2. Apabila proses simulasi berhasil (*Run Successful*) *software* akan secara otomatis langsung mengalkulasi dan mengeluarkan nilai atau angka-angka hasil hitungan pada jaringan pipa. Ada tiga parameter utama yang penulis fokuskan pada simulasi ini, yaitu :

1. Nilai Tekanan Air (*Pressure*)
2. Nilai Kecepatan Aliran (*Velocity*)
3. Nilai Debit Air (*Flow*)

Nilai-Nilai angka yang keluar dari hasil *running* ketiga parameter ini (tekanan, debit, dan kecepatan) selanjutnya akan dikumpulkan dan di rekap dalam bentuk tabel. Angka-angka hasil simulasi inilah yang nantinya akan menjadi bahan untama untuk dianalisis lebih lanjut.

1. Nilai Tekanan Air (*Pressure*)



Sumber: EPANET 2.2, 2026

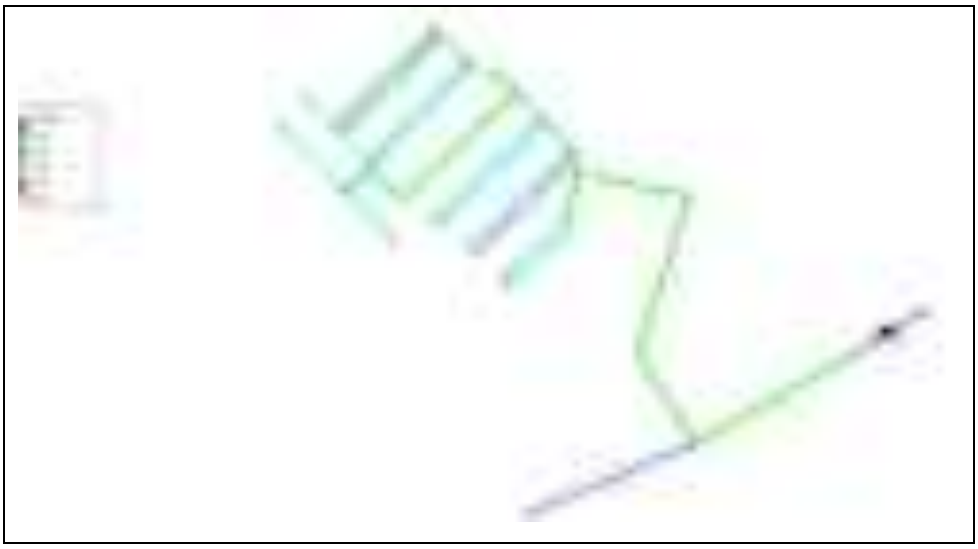
Gambar 4.4 Hasil *Running* Peta Jaringan Tekanan Air (*Pressure*)

Tabel 4.4 *Output Pressure* (Tekanan)

Node ID	*Elevation*	*Base Demand*	*Pressure*
	m	LPS	m
Junc 1	8	0.5	24.95
Junc 2	10	0.5	22.64
Junc 3	10	0.1	22.64
Junc 4	21	0.5	10.05
Junc 5	21	0.5	10.01
Junc 6	21	0.5	9.98
Junc 7	22	0.1	8.90
Junc 8	22	0.5	8.89
Junc 9	22	0.5	8.83
Junc 10	15	0.5	15.80
Junc 11	13	0.5	17.80
Junc 12	11	0.1	19.79
Junc 13	10	0.5	20.79
Junc 14	17	0.5	14.02
Junc 15	13	0.5	18.01
Junc 16	13	0.5	18.02
Junc 17	12	0.1	19.01
Junc 18	12	0.5	18.97
Junc 19	14	0.3	16.90
Junc 20	14	0.5	16.88
Junc 21	19	0.5	11.79
Junc 22	19	0.5	11.79
Junc 23	17	0.1	13.79
Junc 24	18	0.5	12.69
Junc 25	16	0.5	14.69
Junc 26	18	1	12.69
Junc 27	19	0.5	11.67
Junc 28	17	0.5	13.66
Junc 29	16	0.5	14.67

Sumber: EPANET 2.2, 2026

2. Nilai Kecepatan Aliran (*Velocity*)



Sumber: EPANET 2.2, 2026

Gambar 4.5 Hasil *Running* Peta Jaringan Kecepatan aliran (*Velocity*)

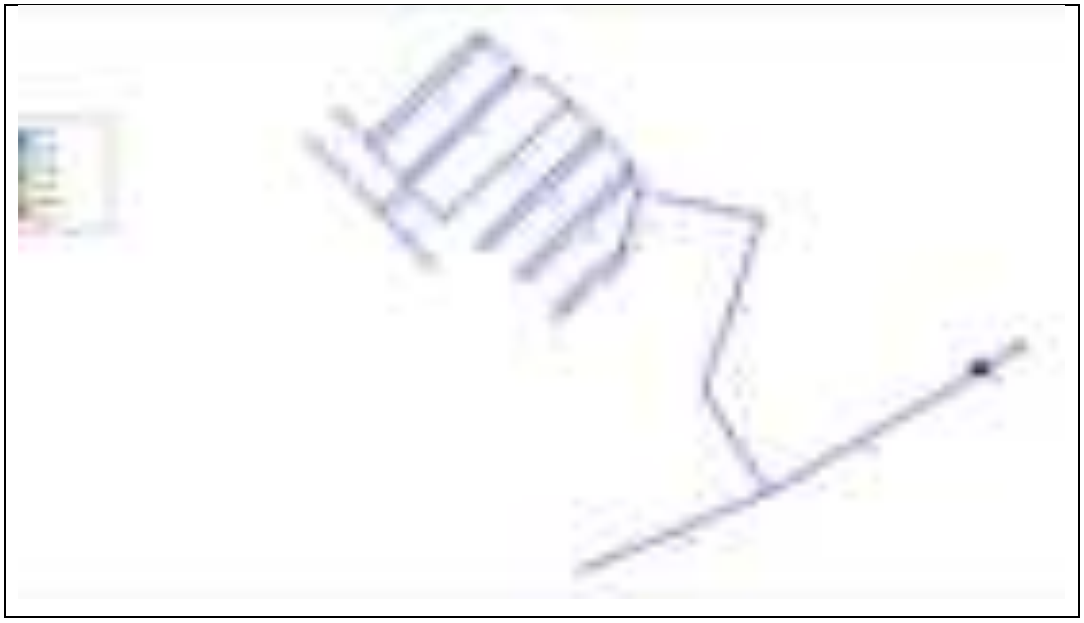
Tabel 4.5 *Output Velocity* (kecepatan)

Link ID	*Length*	Diameter	*Roughness*	*Velocity*
	m	mm		m/s
Pipe P1	143.27	110	120	0.39
Pipe P2	141.16	63	120	0.01
Pipe P3	299.22	90	120	0.55
Pipe P4	10.77	90	120	0.46
Pipe P5	9.22	90	120	0.43
Pipe P6	26.87	90	120	0.38
Pipe P7	7.07	90	120	0.36
Pipe P8	27.59	90	120	0.32
Pipe P9	40.64	90	120	0.21
Pipe P10	5.66	90	120	0.16
Pipe P11	27.59	90	120	0.11
Pipe P12	7.81	90	120	0.10
Pipe P13	39.56	63	120	0.14
Pipe P14	70.62	63	120	0.05
Pipe P15	63.03	63	120	0.05
Pipe P16	101.86	63	120	0.01
Pipe P17	109.62	63	120	0.05

Pipe P18	111.76	63	120	0.03
Pipe P19	113.86	63	120	0.05
Pipe P20	101.82	63	120	0.05
Pipe P21	102.53	63	120	0.05
Pipe P22	101.83	63	120	0.01
Pipe P23	108.21	63	120	0.16
Pipe P24	155.75	63	120	0.17
Pipe P25	42.45	63	120	0.07
Pipe P26	30.41	63	120	0.05
Pipe P27	26.17	63	120	0.14
Pipe P28	53.08	63	120	0.05
Pipe P29	70.71	63	120	0.05

Sumber: EPANET 2.2, 2026

3. Nilai Debit Air (*Flow*)



Sumber: EPANET 2.2, 2026

Gambar 4.6 Hasil *Running* Peta Jaringan Debit Air (*Flow*)

Tabel 4.6 *Output Flow* (Debit)

Link ID	*Length*	*Diameter*	*Roughness*	*Flow*	*Status*
	m	mm		LPS	
Pipe P1	143.27	110	120	3.69	*Open*
Pipe P2	141.16	63	120	0.03	*Open*
Pipe P3	299.22	90	120	3.51	*Open*
Pipe P4	10.77	90	120	2.91	*Open*
Pipe P5	9.22	90	120	2.73	*Open*
Pipe P6	26.87	90	120	2.43	*Open*
Pipe P7	7.07	90	120	2.31	*Open*
Pipe P8	27.59	90	120	2.01	*Open*
Pipe P9	40.64	90	120	1.32	*Open*
Pipe P10	5.66	90	120	1.02	*Open*
Pipe P11	27.59	90	120	0.72	*Open*
Pipe P12	7.81	90	120	0.66	*Open*
Pipe P13	39.56	63	120	0.45	*Open*
Pipe P14	70.62	63	120	0.15	*Open*
Pipe P15	63.03	63	120	0.15	*Open*
Pipe P16	101.86	63	120	0.03	*Open*
Pipe P17	109.62	63	120	0.15	*Open*
Pipe P18	111.76	63	120	0.09	*Open*
Pipe P19	113.86	63	120	0.15	*Open*
Pipe P20	101.82	63	120	0.15	*Open*
Pipe P21	102.53	63	120	0.15	*Open*
Pipe P22	101.83	63	120	0.03	*Open*
Pipe P23	108.21	63	120	0.51	*Open*
Pipe P24	155.75	63	120	0.54	*Open*
Pipe P25	42.45	63	120	-0.21	*Open*
Pipe P26	30.41	63	120	0.15	*Open*

Pipe P27	26.17	63	120	0.45	*Open*
Pipe P28	53.08	63	120	0.15	*Open*
Pipe P29	70.71	63	120	0.15	*Open*

Sumber: EPANET 2.2, 2026

4.3.1 PERHITUNGAN MANUAL

1. Perhitungan Nilai Kecepatan (*pipe 1*)

   $V = Q / A$

   $A = \pi/4 \times D^2$

   $A = \pi/4 \times (0{,}11)^2$

   $A = 0{,}7854 \times 0{,}0121$

   $A = 0{,}0095\ m^2$

   $V = Q / A$

   $V = 0{,}00369 / 0{,}0095 = 0{,}38842$

   $V = 0{,}39\ m/s$

2. Perhitungan Nilai Tekanan (*Pipe* 1)

   Diketahui :

   Panjang Pipa P1 (L) = 143,27 m
   Diameter Pipa P1 (D) = 110 mm = 0,11 m
   Koefisien *Hazen-Williams* = 120 (PVC)
   Debit Pipa P1 (Q) = 3,69 LPS = 0,00369 m^3/s
   Debit Pompa (Q pompa) = 3,84 LPS
   Elevasi *Junction* 1 = 8 m
   Persamaan *Pump Curve* = $33{,}33 - 0{,}003334 \times (Q)^2$

Menghitung *Head* Pompa

Head Pompa = 33,33 - 0,003334 × (Q pompa)²

= 33,33 - 0,003334 × (3,84)²

= 33,33 - 0,003334 × 14,75

= 33,33 - 0,049

= 33,28 m

Keterangan:

Pompa menambahkan energi sebesar 33,28 m ke dalam sistem jaringan

Rumus:

$hf = (10{,}67 \times L \times Q^{1{,}852}) / (Chw^{1{,}852} \times D^{4{,}87})$

Hitung pembilang:

$10{,}67 \times 143{,}27 \times (0{,}00369)^{1{,}852}$

$= 10{,}67 \times 143{,}27 \times 0{,}0000426$

$= 0{,}0650$

Hitung penyebut:

$(120)^{1{,}852} \times (0{,}11)^{4{,}87}$

$= 7831{,}7 \times 0{,}0000158$

$= 0{,}1237$

Hasil:

$hf = 0{,}0650 / 0{,}1237$

hf = 0,53 m

Keterangan:

Energi air berkurang sebesar 0,53 m akibat gesekan sepanjang Pipa P1

Head *Junction* 1 = *Head Total* - *Headloss* P1

= 33,28 - 0,53

= 32,75 m

Keterangan:

Energi total air yang tiba di *Junction* 1 adalah 32,75 m

Tekanan *Junction* 1 = *Head Junction* 1 - Elevasi *Junction* 1
= 32,75 - 8
= 24,75 m

Keterangan:
Nilai 24,75 m adalah *head* tekanan pada *Junction* 1

Tekanan Bersih = 124,75 - 100
= 24,75 mka

3. Perhitungan Nilai Debit (*Pipe* 1)

$Q = V \times A$

Diketahui:

Kecepatan aliran (V) = 0,39 m/s

Luas penampang pipa (A) = 0,0095 m^2

$Q = V \times A$

$Q = 0,39 \times 0,0095$

$Q = 0,0037\ m^3/s$

Q = 3,7 LPS

4.4 EVALUASI HASIL SIMULASI DENGAN STANDAR PELAYANAN

Pada sub-bab ini dilakukan evaluasi dan pembahasan mendalam mengenai keandalan hidrolis dari jaringan pipa distribusi air bersih aksisting di Perumahan Borneo *Residence*. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan secara langsung parameter-parameter *output* hidrolis hasil simulasi *running* program EPANET 2.2 ,seperti yang telah ditampilkan pada sub bab 4.3 ,dengan kriteria desain standar yang berlaku, yaitu Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih. Adapun parameter utama yang dievaluasi meliputi tekanan air

(*pressure*) pada setiap simpul (*Junction),* kecepatan aliran air (*velocity*) pada setiap segmen pipa (*pipe/link*), serta pemenuhan kuantitas debit air (*flow*) untuk melayani kebutuhan konsumen.

4.4.1 Evaluasi Tekanan Air (*pressure*)

Evaluasi terhadap parameter tekanan air (*pressure*) pada simpul (*Junction*) bertujuan untuk memastikan bahwa energi dorong air di dalam jaringan pipa distribusi mampu mengalirkan air hingga ke titik pelayanan konsumen terjauh. Batasan nilai tekanan air ini merujuk pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih. di mana sisa tekan minimum yang diwajibkan pada jaringan pipa distribusi adalah sebesar 5-10 mka, sedangkan tekanan maksimum yang diizinkan untuk menjaga keamanan struktur pipa dengan bahan PVC adalah sebesar 60-80 mka.

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan hidrolis pada kondisi *eksisting* jaringan pipa Perumahan Borneo *Residence* seperti yang ditunjukan pada tabel 4.4 hasil *running* nilai tekanan air, nilai sisa tekan pada seluruh *Junction* menunjukan kondisi yang sangat baik. Nilai tekanan air terendah berada pada *Junction* 9 yaitu sebesar 8,83 meter sedangkan tekanan tertinggi berada pada *Junction* 1 sebesar 24,95 meter. Jika nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih, maka seluruh simpul (*Junction*) pada jaringan distribusi *eksisting* Perumahan Borneo *Residence* dinyatakan 100% memenuhi standar (Aman). Hal ini dikarenakan tidak ada satupun simpul yang mengalami tekor air (di bawah 5 meter) maupun mengalami tekanan berlebihan yang rawan merusak pipa (di atas 80 meter). Air dipastikan dapat mengalir dengan lancar ke rumah-rumah warga.

4.4.2 Evaluasi Kecepatan Aliran (*Velocity*)

Evaluasi terhadap parameter kecepatan aliran air (*velocity*) pada pipa bertujuan untuk memastikan air dapat mengalir secara dinamis di dalam sistem jaringan

distribusi. Pembatasan kecepatan ini sangat penting karena jika aliran terlalu lambat, maka aliran air tidak memiliki energi untuk pembersihan mandiri (*self-cleansing*) sehingga memicu penumpukan partikel sedimen di dasar pipa yang lambat laun memperkecil diameter efektif pipa. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih, standar kecepatan aliran yang diizinkan di dalam pipa distribusi adalah minimum 0,3 m/s dan maksimum 3,0–4,5 m/s untuk pipa PVC, sesuai Tabel 2.5 Permen PU No. 18/PRT/M/2007.

Berdasarkan hasil simulasi kondisi *eksisting* pada jaringan pipa Perumahan Borneo *Residence* seperti yang di tunjukan pada tabel 4.5 hasil *running* nilai kecepatan aliran, ditemukan bahwa hanya ada 7 pipa yang berhasil memenuhi standar yaitu (*Pipe* P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8). Sementara itu, terdapat 22 unit pipa lainnya yang memiliki nilai kecepatan di bawah standar minimum (< 0,3 m/s). Kecepatan aliran yang sangat rendah ini teridentifikasi mulai dari *Pipe* P9 sebesar 0,21 m/s, hingga yang paling ekstrem mendekati angka nol seperti pada *Pipe* P2, P16 dan P22 yang hanya sebesar 0,01 m/s.

Kondisi kecepatan yang berada di bawah standar pada 22 unit pipa tersebut mengindikasikan bahwa jaringan pipa *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* mengalami masalah dimensi yang terlalu besar (*over-dimension*). Diameter pipa yang terpasang di lapangan saat ini terlalu lebar jika dibandingkan dengan debit air aktual yang mengalir melewati titik-titik tersebut. Penemuan ini menunjukan bahwa sistem perpipaan *eksisting* kurang efisien secara hidrolis karena menggunakan ukuran diameter besar yang sebetulnya belum diperlukan oleh kapasitas debit aliran saat ini. Oleh karena itu, permasalahan rendahnya kecepatan pada 22 unit pipa ini menjadi dasar utama diperlukannya usulan optimasi atau pengecilan dimensi pipa pada bagian Rekomendasi Teknis di poin 4.5.

4.4.3 Evaluasi Debit Air (Flow)

Evaluasi terhadap parameter debit air (flow) bertujuan untuk memastikan bahwa kuantitas kapasitas air yang disalurkan oleh PDAM melalui jaringan perpipaan mampu memenuhi seluruh kebutuhan air bersih konsumen di Perumahan Borneo *Residence* pada kondisi, serta untuk mengamati karakteristik arah aliran debit di dalam sistem pipa. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program EPANET 2.2, evaluasi debit ditinjau melalui dua aspek hidrolis, yaitu :

1. Aspek Pemenuhan Kebutuhan (*Demand* Simpul):
   Seluruh beban data masukan berupa *base demand* yang bersumber dari PDAM Kabupaten Bulungan (Tabel 4.2) telah terpenuhi 100% secara positif pada hasil simulasi aktualnya. Distribusi pemenuhan kebutuhan air pada 29 titik simpul (*Junction*) berjalan dengan sukses dengan sebaran debit kebutuhan berkisar antara 0,1 LPS hingga 1,0 LPS. Simulasi ini menghasilkan status *Successful Run* tanpa adanya pesan peringatan error (*warning message*). Hal ini menjadi bukti bahwa kapasitas kuantitas sudah sangat mencukupi kebutuhan seluruh konsumen di area perumahan.
2. Aspek Aliran di Dalam Batang Pipa (*Flow Link*):
   Debit air hasil perhitungan program otomatis mengalir membelah jaringan pipa untuk menyuplai 29 titik simpul (*Junction*). Secara umum kuantitas aliran pada pipa-pipa *eksisting* berjalan lancar dan bernilai positif, namun ditemukan kondisi khusus pada *Pipe* P25 di mana nilai *flow* menunjukan angka negatif sebesar -0,21 LPS (tabel 4.6). Nilai negatif pada *Flow Pipe* P25 tersebut sama sekali tidak mengindikasikan adanya kebocoran atau kondisi tekor air. Di dalam pemodelan EPANET 2.2, nilai minus merupakan sebuah indikator hidrolis yang menunjukan bahwa aliran air di lapangan bergerak terbalik atau berlawanan dari arah penarikan garis pipa awal saat pemodelan digambar. Secara mekanika fluida, debit air sebesar 0,21 LPS tersebut nyata, bestatus *Open* (terbuka), dan tetap mengalir secara kontinu untuk melayani kebutuhan konsumen di sekitarnya dengan aman. Dengan demikian, hasil evaluasi debit dapat

disimpulkan bahwa kapasitas debit pasokan dari PDAM untuk Perumahan Borneo *Residence* telah memenuhi standar pelayanan kuantitas.

4.5 REKOMENDASI TEKNIS PERBAIKAN JARINGAN DISTRIBUSI

Berdasarkan hasil evaluasi hidrolis pada sub-bab (4.4.), ditemukan bahwa parameter ketersediaan debit air (*demand*) dan tekanan (*pressure*) pada jaringan pipa distribusi Perumahan Borneo *Residence* secara keseluruhan telah memenuhi standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum dan Air Bersih,. Namun, permasalahan utama yang krusial ditemukan pada parameter kecepatan aliran air (*velocity*), di mana dari total 29 unit pipa, hanya terdapat 7 unit pipa (P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8) yang memenuhi standar minimum (> 0,3 m/s). Sementara itu, sebanyak 22 unit pipa sisanya teridentifikasi memiliki kecepatan aliran yang terlalu rendah di bawah standar.

Kecepatan aliran yang terlalu rendah dalam jangka panjang kurang baik bagi pipa distribusi karena dapat memicu terjadinya pengendapan sedimen di dalam pipa dan menurunkan kualitas air besih yang diterima konsumen. Oleh karena itu, diperlukan langkah rekomendasi teknis berupa optimasi geometri jaringan untuk meningkatkan kecepatan aliran air tanpa mengganggu stabilitas tekanan dan kontinuitas debit air dari PDAM Kabupaten Bulungan.

4.5.1 Skenario Reduksi Diameter Pipa (*Resizing*)

Rekomendasi teknis yang diajukan dalam penelitian ini adalah melakukan skenario reduksi (penurunan) diameter pipa pada 22 unit pipa *eksisting* yang mengalami masalah kecepatan rendah. Berdasarkan asas kontinuitas hidrolika (Q=A x v), pada nilai debit (Q) yang konstan, pengecilan luas penampang pipa (A) secara otomatis akan memicu peningkatan nilai kecepatan aliran air (v) di dalam pipa tersebut.

Skenario perbaikan pada pemodelan simulasi dilakukan dengan membagi penyesuaian diameter nominal berdasarkan standar pipa PVC SNI terkecil yang aman untuk jaringan distribusi, yaitu:

1. *Pipe* P2 : Diturunkan dari diameter *eksisting* 63 mm menjadi 50 mm.
2. *Pipe* P9, P10, P11, dan P12 : Diturunkan dari diameter *eksisting* 90 mm menjadi 63 mm.
3. *Pipe* P13 sampai dengan P29 : Diturunkan dari diameter *eksisting* 63 mm menjadi 50 mm.

Sementara untuk pipa Utama P1(110 mm) serta P3 hingga P8(90mm) tetap dipertahankan sesuai kondisi *eksisting* karena kinerja kecepatan alirannya dari awal telah memenuhi standar ideal.

4.5.2 Analisis Hasil Simulasi Skenario Rekomendasi

Setelah dilakukan pengimputan diameter baru pada 22 unit pipa tersebut dan dilakukan *running* ulang pada program EPANET 2.2, diperoleh status *Run Was Successful* tanpa adanya pesan peringatan *error*. Perubahan dimensi pipa ini memberikan dampak hidrolis yang bervariasi namun tetap aman bagi sistem distribusi, dengan rincian sebagai berikut :

1. Pipa Distribusi (P9 dan P10) :

   Skenario reduksi diameter 90 mm menjadi 63 mm terbukti 100% efektif meningkatkan kecepatan aliran air hingga berhasil menembus batas standar minimum, yaitu menyentuh angka (> 0,3 m/s). Hal ini menunjukan bahwa penyesuaian diameter pada koridor tersebut sangat ideal dengan kuantitas debit yang dilewatkan pada jam puncak.
2. Pipa Distribusi Luar Blok (*Dead-End*-P2) :

   Berdasarkan konfigurasi peta jaringan, *Pipe* P2 merupakan jalur cabang independen yang mengalirkan air menuju *Junction* 3 di luar area utama perumahan. Hasil simulasi menunjukan bahwa meskipun diameter telah direduksi menjadi 50 mm, nilai kecepatan aliran air di dalamnya tetap berada di angka 0,02 m/s. Kondisi ini secara hidrolika sangat logis karena *pipe* P2 berfungsi sebagai jalur buntu (*dead-end*) pelayanan luar yang memiliki

akumulasi nilai beban *demand* yang sangat minim di ujungnya, sehingga fluktuasi kecepatannya sangat bergantung pada aktivitas keran simpul tunggal tersebut.

3. Pipa Pelayanan Blok Perumahan (P11 s.d P29) :

   Pipa-pipa sekunder yang masuk blok rumah warga, meskipun diameter pipa telah direduksi secara maksimal menuju batas ambang terkecil sistem distribusi pelayanan yaitu 50 mm, nilai kecepatan aliran terpantau masih berada di bawah standar minimum 0,3 m/s. Secara mekanika fluida, hal ini disebabkan oleh karakteristik pasokan debit aktual (*flow*) dari PDAM Kabupaten Bulungan pada titik-titik ujung pemukiman ini memang relatif kecil (berkisar antara 0,1 LPS hingga 0,5 LPS sesuai data *Base Demand*)

Dalam Perencanan teknik sipil riil di lapangan, diameter pipa pelayanan di area perumahan tidak direkomendasikan untuk diturunkan lagi dibawah diameter nominal 50 mm. Pemaksaan pengecilan diameter di bawah batas tersebut hanya demi mengejar visualisasi angka standar kecepatan di komputer akan beresiko fatal, seperti memicu lonjakan kehilangan tekanan akibat gesekan (*friction head loss*) yang membuat air mogok mengalir, memperbesar risiko penyumbatan pipa akibat partikel sedimen, serta menyulitkan proses perawatan (*maintenance*).

Dengan demikian, hasil rekomendasi teknis ini menyimpulkan bahwa penyesuaian diameter pada skenario ini telah dilakukan secara maksimal. Kondisi kecepatan yang belum menembus 0,3 m/s pada pipa blok pelayanan dinyatakan sebagai kondisi hidrolis marginal yang dapat ditoleransi (*acceptable margin velocity*) demi mempertahankan prioritas utama jaringan, yaitu keamanan tekanan air (*pressure*) dan kontinuitas pasokan air bersih sampai ke rumah konsumen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi hidrolis menggunakan software EPANET 2.2 dan evaluasi yang telah dilakukan terhadap jaringan pipa distribusi air bersih *eksisting* di Perumahan Borneo *Residence* Kabupaten Bulungan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis Kondisi Hidrolis Jaringan Eksisting

   Hasil analisis kondisi hidrolis jaringan pipa distribusi air bersih eksisting di Perumahan Borneo Residence yang terdiri dari 29 *Junction* dan 29 segmen pipa berbahan PVC dengan variasi diameter 110 mm, 90 mm, dan 63 mm, bersumber dari PDAM Kabupaten Bulungan melalui sistem pemompaan dengan total *base demand* sebesar 12,8 LPS untuk melayani 245 unit rumah menggunakan simulasi EPANET 2.2 menunjukkan:

   a. Tekanan Air (*Pressure*):

      Nilai tekanan air pada seluruh 29 *Junction* berkisar antara 8,83 mka (nilai terendah, pada Junction 9) hingga 24,95 mka (nilai tertinggi, pada Junction 1).

   b. Debit Air (Flow):

      Seluruh *base demand* pada 29 *Junction* terlayani dengan status simulasi *Run Successful* tanpa pesan peringatan (*error*), dengan sebaran debit kebutuhan antara 0,1 LPS hingga 1,0 LPS.

   c. Kecepatan Aliran (*Velocity*):

      Dari 29 segmen pipa, hanya 7 pipa (P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8) yang memiliki kecepatan aliran di atas 0,3 m/s, sedangkan 22 segmen pipa lainnya memiliki kecepatan di bawah standar minimum, dengan nilai terendah pada Pipe P2, P16, dan P22 sebesar 0,01 m/s mengindikasikan kondisi *over-dimension* pada sebagian besar jaringan.

2. Evaluasi Kinerja Jaringan Berdasarkan Standar Permen PU No. 18/PRT/M/2007

   Hasil evaluasi terhadap tiga parameter hidrolis menunjukkan hasil sebagai berikut:

   a. Tekanan Air (*Pressure*):

      Seluruh 29 *Junction* dinyatakan 100% memenuhi standar. Nilai tekanan terendah terdapat pada *Junction* 9 sebesar 8,83 mka dan tertinggi pada *Junction* 1 sebesar 24,95 mka. Keduanya berada dalam rentang standar yang ditetapkan yaitu 5–80 mka untuk pipa PVC sesuai Permen PU No. 18/PRT/M/2007.

   b. Debit Air (Flow):

      Kapasitas debit pasokan dari PDAM memenuhi standar kuantitas, di mana seluruh *base demand* pada 29 *Junction* terpenuhi 100% dengan nilai berkisar antara 0,1 LPS hingga 1,0 LPS dengan status simulasi *Run Successful* tanpa pesan peringatan error. Nilai negatif pada *Pipe* P25 sebesar -0,21 LPS bukan merupakan indikasi kebocoran, melainkan menunjukkan arah aliran yang berlawanan dari arah penggambaran awal pada pemodelan EPANET 2.2.

   c. Kecepatan Aliran (*Velocity*):

      Parameter ini tidak memenuhi standar secara menyeluruh. Dari 29 segmen pipa, hanya 7 pipa yaitu P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 yang memenuhi standar minimum 0,3 m/s. Sebanyak 22 pipa lainnya memiliki kecepatan di bawah standar dengan nilai terendah pada P2, P16, dan P22 sebesar 0,01 m/s, yang mengindikasikan kondisi *over-dimension* pada pipa-pipa tersebut.

3. Rekomendasi Teknis

   Berdasarkan skenario rekomendasi teknis berupa reduksi diameter pipa pada 22 segmen pipa yang bermasalah, dengan rincian *Pipe* P9–P12 direduksi dari 90 mm menjadi 63 mm dan *Pipe* P2, P13–P29 direduksi dari 63 mm menjadi 50 mm, diperoleh hasil sebagai berikut. Pipa distribusi primer P9 dan P10 berhasil

meningkatkan kecepatan aliran hingga melampaui batas minimum standar 0,3 m/s sehingga total pipa yang memenuhi standar meningkat dari 7 menjadi 9 pipa. Sementara itu, pipa pelayanan blok perumahan P11 hingga P29 masih berada di bawah 0,3 m/s meskipun telah direduksi ke diameter minimum yang aman yaitu 50 mm. Kondisi ini dinyatakan sebagai acceptable margin *velocity* yang dapat ditoleransi demi mempertahankan keamanan tekanan air dan kontinuitas pasokan air bersih kepada seluruh konsumen di Perumahan Borneo *Residence*.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut saran yang dapat diberikan :

1. Bagi PDAM Kabupaten Bulungan, disarankan untuk melakukan penggantian diameter pipa pada 22 segmen pipa yang teridentifikasi memiliki kecepatan aliran di bawah standar minimum, khususnya pada segmen pipa P9 dan P10, dengan mereduksi diameter dari 90 mm menjadi 63 mm sebagaimana rekomendasi teknis dalam penelitian ini. Langkah ini terbukti efektif meningkatkan kecepatan aliran hingga memenuhi standar Permen PU No. 18/PRT/M/2007 tanpa mengganggu stabilitas tekanan dan debit air yang sudah baik.
2. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melengkapi penelitian dengan data pengukuran tekanan lapangan secara langsung menggunakan *pressure gauge* pada titik-titik kritis jaringan sebagai data kalibrasi model EPANET 2.2, sehingga hasil simulasi yang diperoleh lebih akurat dan representatif terhadap kondisi nyata di lapangan.
3. Data fluktuasi pemakaian air 24 jam yang telah diperoleh dari PDAM Kabupaten Bulungan namun belum digunakan dalam penelitian ini disarankan untuk dimanfaatkan pada penelitian selanjutnya melalui pendekatan *Extended Period Simulation* (EPS), guna mengevaluasi kondisi kritis jaringan pada saat jam puncak pemakaian air secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jenderal Cipta Karya. (1998). *Pedoman Teknis Penyediaan Air Minum Perdesaan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Harjoko, S., dkk. (2024). Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Perumda Giri Tirta Kabupaten Gresik Menggunakan EPANET 2.2 di Perumahan Greenland Meganti. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 9, No. 2, hal. 45—58.

Kodoatie, R. J. (2005). *Hidrolika Terapan: Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi Offset.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.

Rossman, L. A. (2000). EPANET 2.2 *Users Manual*. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory.

Rucika. (2023). *Panduan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih*. Jakarta: Rucika Technical Publication.

Triadmaja, R. (2019). *Hidrolika: Untuk Teknik Sipil, Sumber Daya Air dan Lingkungan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Tri Joko. (2010). *Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Triatmojo, B. (2010). *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Iqbal Madhani, lahir di Bunyu, 30 September 2004, merupakan Putra Pertama dari Bapak Almarhum Abdullah Mamang dan Ibu Rukibah, Lulus Taman Kanak-kanak RA al-Iman Tahun 2010, Lulus Sekolah Dasar Negeri Nomor 003 Bunyu tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Bunyu lulus tahun 2019, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bunyu Jurusan IPS lulus tahun 2022. Pada tahun 2022, masuk Perguruan Tinggi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kaltara Tanjung Selor.

Dari bulan April s/d Juli 2025 melaksanakan Kuliah Kerja Praktik pada PT. Global Konstruksi Abadi di Kecamatan Tanjung Selor. Bulan Agustus s/d September 2025 melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN-BBM) di Desa Sekatak Bengara Kecamatan Sekatak.

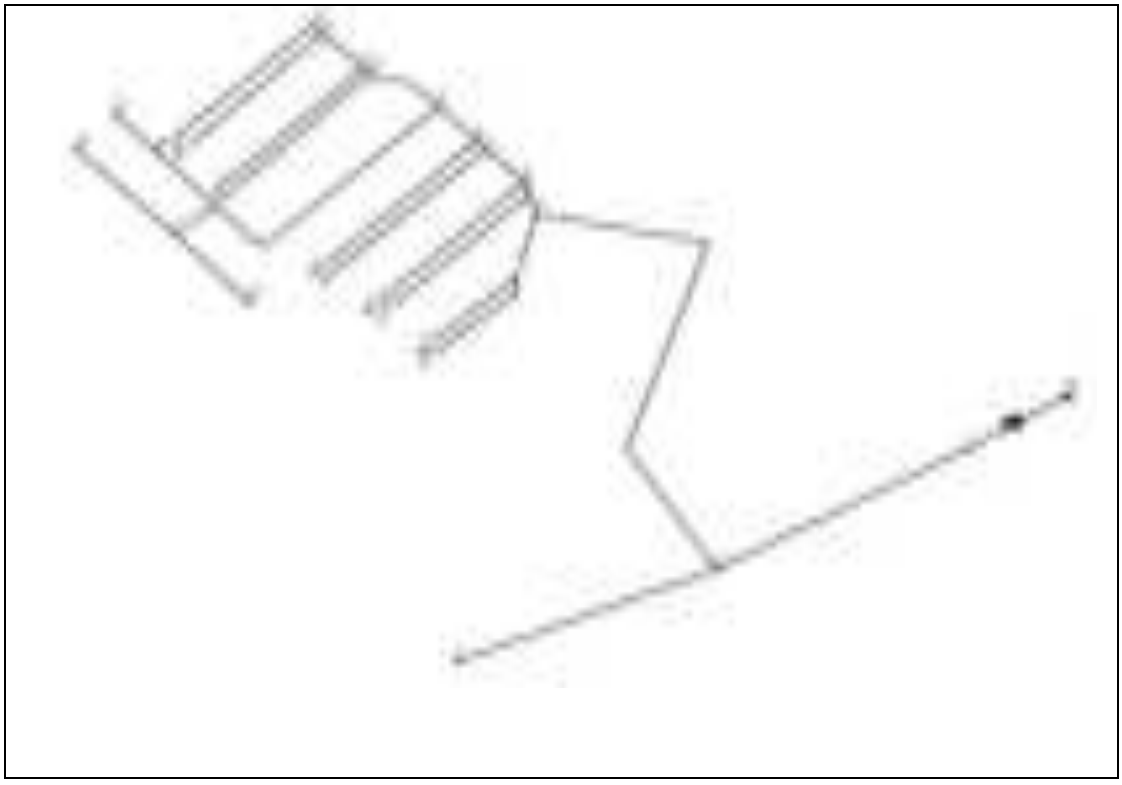
Tempat tinggal di jalan Manunggal RT. 013 , Desa Bunyu Barat, Kecamatan Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.

LAMPIRAN

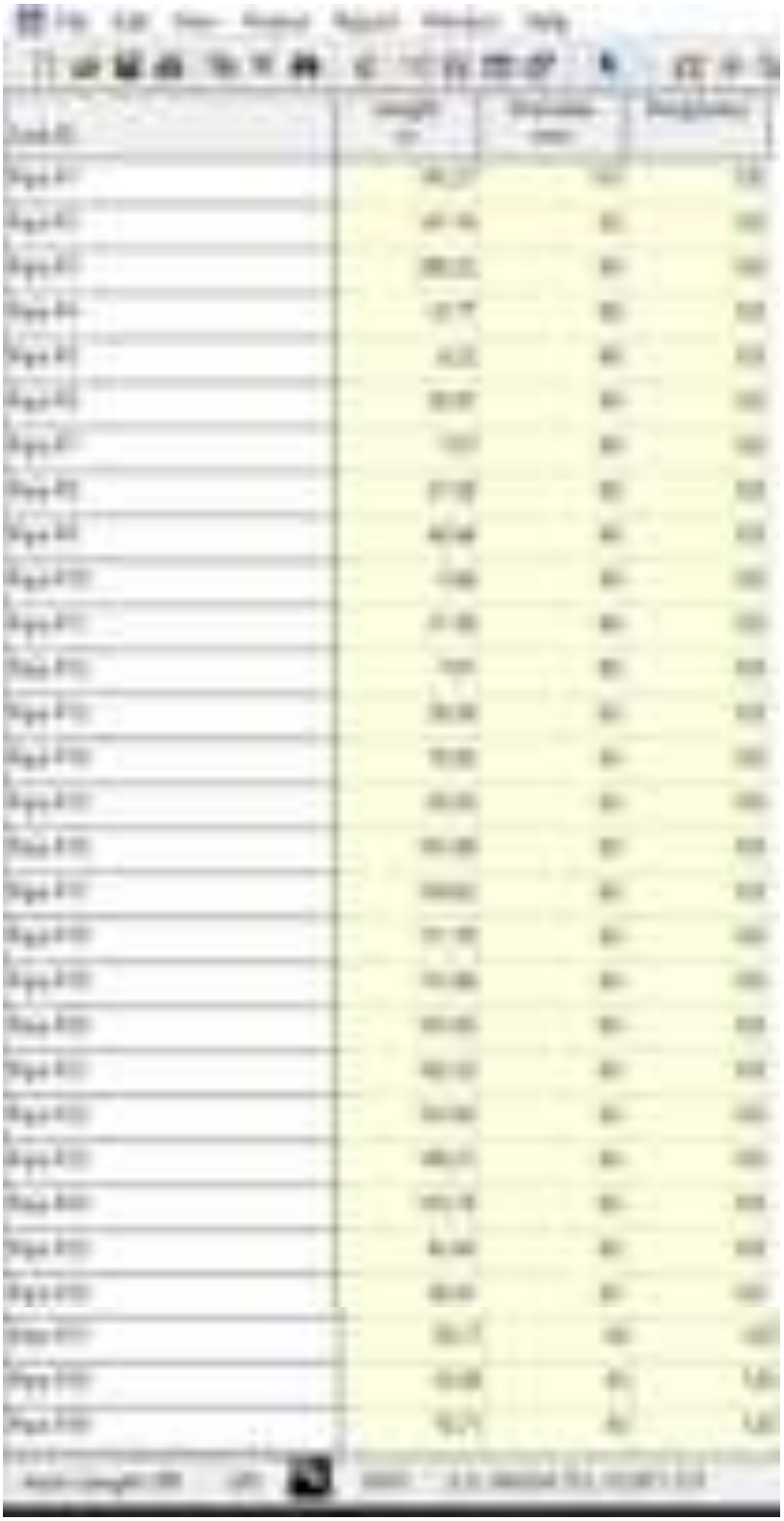
A. Surat Permohonan Data Kepada PDAM Kabupaten Bulungan

B. Surat Balasan Permohonan Data Kepada PDAM Kabupaten Bulungan

C. Gambar Jalur Pipa



D. Data Sekunder Data Teknis Pipa



E. Data Sekunder Data Base Demand

F. Data Sekunder Reservoir

G. Data Sekunder Pump (pompa)

H. Data Sekunder Petern Pemakaian Air Perjam Selama 24 Jam

I. Permen PU Nomor 18/PRT/M/2007

J. Tabel Kriteria Pipa Distribusi Permen PU Nomor 18/PRT/M/2007

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Q puncak	Kebutuhan air jam puncak Q puncak = F puncak x Q rata-rata
2	Faktor jam puncak	F puncak	1.15 – 3
3	Kecepatan aliran air dalam pipa a) Kecepatan minimum b) Kecepatan maksimum Pipa PVC atau ACP Pipa baja atau DCIP	V min V max V max	0.3 - 0.6 m/det 3.0 - 4.5 m/det 6.0 m/det
4	Tekanan air dalam pipa a) Tekanan minimum b) Tekanan maksimum - Pipa PVC atau ACP - Pipa baja atau DCIP - Pipa PE 100 - Pipa PE 80	h min h max h max h max h max	(0.5 - 1.0) atm, pada titik pengaliran pelayanan terjauh. 6 - 8 atm 10 atm 12.4 MPa 9.2 MPa

K. Dokumentasi Lapangan

L. Dokumentasi Seminar Proposal

Hari/Tanggal: Selasa, 28 April 2026

M. Dokumentasi Seminar Hasil

Hari/Tanggal: Senin, 22 Juni 2026

N. Dokumentasi Ujian Akhir Ke-1

Hari/Tanggal: Senin, 13 Juli 2026

O. Dokumentasi Ujian Akhir Ke-2

Hari/Tanggal: Jumat, 17 Juli 2026