

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DAN JARINGAN DRAINASE TERPISAH PERUMAHAN TIRTASANI KARANGPLOSO KABUPATEN MALANG

Amara Abimata Narendratmaja Bastam¹, Medi Efendi², Mona Shinta Safitri³,

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Email: tataabastaml@gmail.com, medipolinema@gmail.com, mona.shinta@polinema.ac.id

ABSTRAK

Perumahan Tirtasani Royal Resort masih menggunakan saluran tercampur untuk mengalirkan limpasan hujan dan air limbah domestik. Kondisi tersebut mengurangi fungsi drainase, menimbulkan bau dan endapan pada periode kering, serta menyebabkan air limbah berpotensi dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan merencanakan jaringan perpipaan air limbah, sembilan unit IPAL fabrikasi, dan jaringan drainase terpisah berikut bangunan pelengkap serta biaya pelaksanaannya. Analisis dilakukan secara kuantitatif menggunakan data 528 rumah, proyeksi penduduk, kebutuhan air bersih, data hujan maksimum 2015-2024 dari Stasiun Singosari, Ciliwung, dan Karangploso, serta hasil survei dimensi dan elevasi. Jaringan pipa gravitasi dan kapasitas drainase dianalisis dengan persamaan Manning. Analisis hidrologi mencakup kurva massa ganda, hujan wilayah, distribusi Gumbel Tipe I, uji Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Square, rumus Mononobe, serta Metode Rasional. Penduduk rencana tahun 2034 adalah 2.138 jiwa dengan debit air limbah 171,04 m³/hari. Jaringan menggunakan pipa PVC diameter 4 inci sepanjang 8.819,22 m dan diarahkan menuju sembilan IPAL berkapasitas 3-14 m³. Hujan rancangan kala ulang 10 tahun sebesar 106,713 mm/hari menghasilkan debit banjir maksimum 0,37236 m³/detik. Saluran yang tidak memenuhi direncanakan ulang memakai U-Ditch 60 × 80 cm, Box Culvert 50 × 50 cm hingga 80 × 80 cm, saluran cor di tempat, dan bangunan terjun. Total RAB termasuk PPN 12% sebesar Rp4.902.558.184,10. Sistem terpisah memberikan pembagian fungsi yang lebih jelas antara sanitasi dan pengaliran air hujan.

Kata kunci : air limbah domestik; IPAL fabrikasi; jaringan perpipaan; drainase terpisah; hidrolika

ABSTRACT

Tirtasani Royal Resort Housing still uses combined channels to convey stormwater runoff and domestic wastewater. This condition reduces drainage performance, causes odor and sediment during dry periods, and allows untreated wastewater to reach the environment. This study plans a gravity sewer network, nine prefabricated wastewater treatment units, and a separate drainage system, including supporting structures and construction costs. The quantitative analysis uses data from 528 houses, population projections, water demand, annual maximum rainfall records from Singosari, Ciliwung, and Karangploso stations for 2015-2024, and field measurements of channel geometry and elevation. The sewer network and drainage capacity are evaluated using Manning's equation. Hydrological analysis includes double-mass curve testing, regional rainfall, Gumbel Type I distribution, Smirnov-Kolmogorov and Chi-Square tests, the Mononobe equation, and the Rational Method. The projected 2034 population is 2,138 people, producing 171.04 m³/day of domestic wastewater. The sewer system uses 4-inch PVC pipes with a total length of 8,819.22 m and conveys wastewater to nine treatment units with nominal capacities of 3-14 m³. The 10-year design rainfall is 106.713 mm/day and the maximum design flood discharge is 0.37236 m³/s. Inadequate channels are redesigned using 60 × 80 cm U-Ditches, 50 × 50 cm to 80 × 80 cm box culverts, cast-in-place channels, and drop structures. The total estimated cost, including 12% VAT, is IDR 4,902,558,184.10. The separate system provides a technically clearer division between sanitation and stormwater conveyance.

Keywords : domestic wastewater; prefabricated treatment plant; sewer network; separate drainage; hydraulics

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kawasan perumahan meningkatkan kebutuhan air bersih sekaligus menghasilkan air limbah domestik yang lebih besar. Air limbah rumah tangga terdiri atas greywater dari kegiatan mandi, mencuci, dan dapur serta blackwater dari toilet. Apabila kedua jenis buangan tidak dikumpulkan dan diolah, bahan organik, padatan, deterjen, minyak, nutrisi, dan mikroorganisme dapat masuk ke saluran lingkungan. Perencanaan IPAL komunal pada kawasan perumahan karena itu harus diawali dengan penetapan jumlah penduduk, debit air limbah, jaringan penyaluran, dan kapasitas pengolahan [6]-[9].

Permasalahan menjadi lebih kompleks ketika air limbah dialirkan melalui jaringan drainase air hujan. Sambungan yang tidak semestinya dan pencampuran aliran mengurangi kapasitas saluran saat hujan serta mempertahankan aliran tercemar pada musim kering [2], [9], [10]. Sistem terpisah membagi fungsi infrastruktur: air limbah dikumpulkan melalui pipa tertutup menuju unit pengolahan, sedangkan limpasan hujan dialirkan melalui drainase. Pembagian tersebut tidak hanya memperbaiki pengendalian pencemaran, tetapi juga memungkinkan setiap jaringan dihitung berdasarkan karakteristik debit dan kriteria hidrauliknya masing-masing [4], [5].

Perumahan Tirtasani Royal Resort, Desa Kepuharjo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, masih menggunakan pola tercampur. Penelitian terdahulu umumnya merencanakan IPAL dan pipa air limbah tanpa mengintegrasikan evaluasi hidrologi, redesain drainase, bangunan terjun, metode pelaksanaan, dan RAB dalam satu kawasan [9]-[10]. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menyusun sistem terpisah secara terpadu. Tujuannya adalah menentukan debit air limbah dan debit banjir rancangan, merencanakan jaringan pipa dan kapasitas IPAL fabrikasi, mengevaluasi serta meredesain drainase, merencanakan bangunan pelengkap, dan mengestimasi biaya konstruksi.

2. METODE

2.1 Pendekatan, Lokasi, dan Data

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berupa perencanaan teknis pada Perumahan Tirtasani Royal Resort. Kawasan dibagi menjadi lima cluster, yaitu Royal Village, Park Royal, Tirta Harmoni, Tirta Tiara, dan Tirta Pelangi. Batas pelayanan pipa dan IPAL ditentukan berdasarkan posisi rumah, arah penurunan elevasi, panjang trase, dan ketersediaan ruang. Drainase dibagi per ruas berdasarkan perubahan arah, dimensi, elevasi, pertemuan aliran, dan outlet.

Data primer meliputi bentuk dan dimensi saluran, panjang ruas, elevasi awal-akhir, arah aliran, kondisi fisik, tata guna lahan, titik inlet, dan dokumentasi. Data sekunder terdiri atas jumlah rumah, data penduduk, kebutuhan air bersih, peta kawasan, curah hujan maksimum 2015-2024 dari Stasiun Singosari, Ciliwung, dan Karangploso, parameter Manning, kapasitas IPAL fabrikasi, serta harga satuan pekerjaan. Pengolahan data dilakukan dengan spreadsheet, perangkat pemetaan, dan gambar teknik.



Gambar 1. Peta Wilayah Desa Kepuharjo
Sumber : Google Maps, diolah penulis, 2026

2.2 Analisis Penduduk dan Debit Air Limbah

Jumlah penduduk kawasan ditentukan dari jumlah unit rumah dan asumsi empat penghuni per rumah, kemudian disesuaikan dengan penambahan penduduk sampai tahun rencana 2034. Pendekatan berbasis rumah dipilih karena unit pelayanan dan sebaran cluster dapat diidentifikasi secara langsung. Debit air limbah dihitung dari jumlah penduduk, kebutuhan air bersih 100 liter/jiwa/hari, dan faktor air limbah 80%.

$$Q_w = \frac{(P \times q \times f)}{1000} \quad (1)$$

Q_w adalah debit air limbah (m^3 /hari), P jumlah penduduk (jiwa), q kebutuhan air bersih (liter/jiwa/hari), dan f faktor air limbah. Debit total selanjutnya dibagi menurut cluster dan subwilayah pelayanan sehingga setiap ruas pipa serta unit IPAL menerima beban yang sesuai.

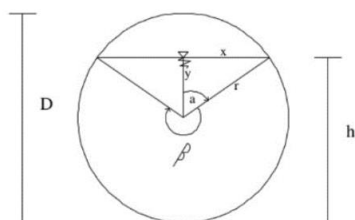
2.3 Analisis Jaringan Pipa dan IPAL Fabrikasi

Pipa direncanakan mengalir secara gravitasi. Kemiringan geometrik dihitung dari selisih elevasi dasar terhadap panjang ruas. Karena pipa tidak bekerja penuh, parameter penampang meliputi tinggi aliran, sudut pusat, luas basah, keliling basah, dan jari-jari hidraulik. Hubungan dasarnya adalah $R = A/P$. Kecepatan dan kapasitas dihitung menggunakan persamaan Manning.

$$S = \frac{(Zawal - Zakhir)}{L} \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times \sqrt{S} \quad (3)$$

$Q = A \times V$ (4)
 V adalah kecepatan (m/detik), n koefisien kekasaran, R jari-jari hidraulis (m), S kemiringan energi, dan A luas penampang basah (m²). Pipa dinyatakan memenuhi apabila Q_{kap} lebih besar daripada debit air limbah dan kecepatan berada pada rentang 0,30-2,50 m/detik. Ruas yang tidak memenuhi dikoreksi melalui penyesuaian elevasi dasar dan slope.



Gambar 2. Geometri Aliran Sebagian Penuh Pipa

Sumber : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Pada Perumahan D'Park City Kabupaten Malang

Volume efektif IPAL ditentukan berdasarkan debit pelayanan, waktu tinggal hidraulik enam jam, dan faktor keamanan 1,2. Kapasitas nominal dipilih pada ukuran fabrikasi terdekat yang lebih besar daripada volume efektif.

$$V_{ef} = Q_{in} \times \left(\frac{HRT}{24} \right) \times S_f \quad (5)$$

V_{ef} adalah volume efektif (m³), Q_{in} debit pelayanan (m³/hari), HRT waktu tinggal (jam), dan S_f faktor keamanan. Analisis penelitian dibatasi pada kecukupan kapasitas hidraulik dan tidak mengevaluasi mutu efluen.

2.4 Analisis Hidrologi

Konsistensi data hujan diuji dengan kurva massa ganda. Curah hujan wilayah dihitung menggunakan rata-rata aljabar dari tiga stasiun, kemudian dilakukan uji homogenitas. Distribusi frekuensi dipilih berdasarkan parameter statistik dan diuji dengan Smirnov-Kolmogorov serta Chi-Square. Hujan rancangan kala ulang 10 tahun dihitung memakai Gumbel Tipe I. Intensitas hujan dihitung dengan Mononobe berdasarkan waktu konsentrasi setiap daerah tangkapan.

$$P = \frac{1}{n} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \quad (6)$$

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

Debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional. Koefisien pengaliran komposit sebesar 0,2996 merupakan gabungan kontribusi kawasan rumah dan jalan.

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (8)$$

Q adalah debit banjir (m³/detik), C koefisien pengaliran, I intensitas (mm/jam), dan A luas daerah tangkapan (ha). Debit

tiap ruas mengikuti daerah tangkapan dan akumulasi aliran dari ruas hulu.

2.5 Analisis Hidraulika Drainase dan Bangunan Terjun

Saluran eksisting dan rencana dianalisis dengan persamaan Manning. Untuk penampang persegi, $A = b \cdot h$ dan $P = b + 2h$. Kapasitas dibandingkan dengan debit rencana, sedangkan kondisi aliran diperiksa melalui kecepatan, tinggi jagaan, dan bilangan Froude.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times D}} \quad (9)$$

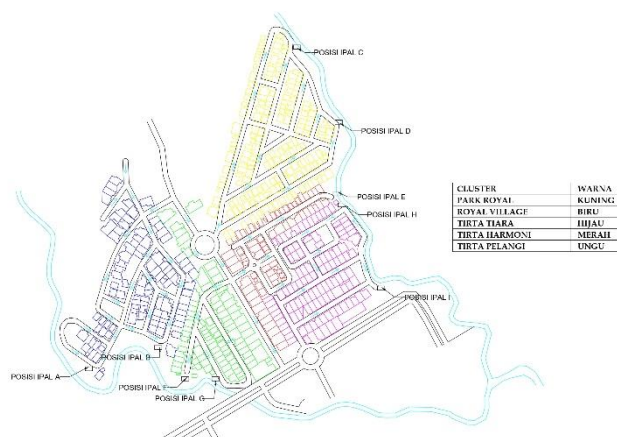
Saluran memenuhi apabila $Q_{kap} \geq Q_{rencana}$, kecepatan berada dalam batas material, dan kondisi akhir dapat dikendalikan. Ruas yang tidak memenuhi direncanakan ulang menggunakan U-Ditch, Box Culvert, atau saluran cor di tempat. Pada beda elevasi besar, bangunan terjun digunakan untuk membagi kehilangan tinggi, mengurangi kecepatan, dan membentuk loncatan hidraulik yang terkontrol [13]-[15].

2.6 Volume Pekerjaan dan RAB

Volume pekerjaan dihitung berdasarkan dimensi dan panjang hasil desain. Kelompok pekerjaan mencakup persiapan, pembongkaran, galian, urugan, pipa, IPAL, saluran pracetak, cor di tempat, inlet, bangunan terjun, dan finishing. Biaya diperoleh dari volume dikalikan harga satuan. Total pekerjaan kemudian ditambah PPN 12%. Nilai biaya digunakan sesuai hasil akhir skripsi tanpa menghitung ulang analisis harga satuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Eksisting dan Konsep Sistem Terpisah



Gambar 3. Skema Jaringan Air Limbah dan Drainase

Sumber : Hasil Perencanaan

Jaringan air limbah direncanakan mengikuti koridor jalan dan arah penurunan elevasi agar aliran dapat berlangsung secara gravitasi. Setiap kelompok rumah dihubungkan ke pipa

pelayanan yang selanjutnya bermuara pada pipa pengumpul menuju IPAL A sampai IPAL I. Pembagian menjadi sembilan daerah pelayanan dilakukan untuk menghindari kedalaman galian yang berlebihan dan mengurangi kebutuhan pipa induk berdiameter besar. Sementara itu, saluran eksisting dipertahankan khusus untuk mengalirkan limpasan hujan menuju outlet. Konfigurasi tersebut membentuk dua jalur aliran yang tidak saling terhubung, sehingga air limbah tidak lagi dibuang melalui jaringan drainase.

Saluran eksisting mengikuti koridor jalan dan menerima dua jenis aliran yang seharusnya ditangani berbeda. Air hujan bersifat sementara dengan debit puncak tinggi, sedangkan air limbah mengalir setiap hari dengan karakteristik pencemar. Ketika keduanya masuk pada saluran yang sama, kapasitas drainase tidak sepenuhnya tersedia bagi limpasan hujan dan saluran tetap berisi air tercemar pada periode kering. Konsep rencana mempertahankan drainase untuk air hujan dan menambahkan jaringan pipa gravitasi yang mengumpulkan greywater serta blackwater menuju IPAL fabrikasi.

Pemisahan tidak dilakukan dengan satu pipa utama dan satu IPAL terpusat. Topografi dan sebaran cluster menyebabkan sistem dibagi menjadi sembilan subpelayanan. Strategi modular mengurangi panjang pipa induk, membatasi kedalaman galian, dan memungkinkan pembangunan bertahap. Konsekuensinya adalah kebutuhan akses operasi dan pemeliharaan pada setiap unit.

3.2 Penduduk Rencana dan Debit Air Limbah

Inventarisasi menghasilkan 528 rumah. Dengan proyeksi sampai 2034, penduduk rencana ditetapkan 2.138 jiwa. Debit total dihitung sebagai berikut:

$$Q_w = \frac{(2,138 \times 100 \times 0,80)}{1000} = 171,04 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Park Royal menghasilkan debit terbesar karena memiliki penduduk paling banyak, sedangkan Tirta Harmoni menghasilkan debit terkecil. Pembagian debit menurut cluster menjaga agar kapasitas pipa dan IPAL tidak ditentukan dari angka total secara seragam.

Tabel 1. Rekapitulasi Debit Air Limbah Domestik

No	Cluster	Jumlah Penduduk	Q Air Bersih (liter/hari)	Faktor Limbah	Q Limbah (m ³ /hari)	Q Limbah (m ³ /detik)
1	Royal Village	373	37.300	0,8	29,84	0,00034
2	Park Royal Tirta	684	68.400	0,8	54,72	0,00063
3	Harmo ni	235	23.500	0,8	18,80	0,00021

4	Tirta Tiara	328	32.800	0,8	26,24	0,00030
5	Pelangi	518	51.800	0,8	41,44	0,00048
Total		2.138			171,04	0,00198

Sumber : Hasil Perhitungan

3.3 Jaringan Pipa dan Kapasitas IPAL

Jaringan menggunakan pipa PVC diameter 4 inci sepanjang 8.819,22 m. Diameter yang sama memudahkan pengadaan, namun kontrol tetap dilakukan per ruas karena debit dan kemiringan berbeda. Contoh pada ruas A1-A69 menunjukkan kecepatan awal 2,553 m/detik, sedikit melampaui batas 2,50 m/detik. Setelah elevasi dasar disesuaikan, kecepatan menjadi 2,334 m/detik dan memenuhi kriteria.

Tabel 2.

Ruas	Debit limbah	Slope awal	Kecepatan awal	Slope rencana	Kecepatan akhir	Status
A1-A69	0,0001638	0,14	2,553	0,12	2,334	Memenuhi
A30-A20	4,62963E-06	-0,009	-	0,006	0,547	Memenuhi
A6-A7	0,0001268	0,06	1,727	0,06	1,727	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Rekapitulasi ruas kritis menunjukkan bahwa penggunaan diameter seragam 4 inci tidak secara otomatis menghasilkan kondisi hidraulik yang sama pada seluruh jaringan. Perbedaan debit dan elevasi menyebabkan variasi kecepatan antar-ruas. Ruas dengan kemiringan terlalu kecil berisiko mengalami sedimentasi, sedangkan kemiringan berlebih meningkatkan kecepatan dan potensi kerusakan sambungan. Oleh karena itu, penyesuaian elevasi dasar lebih tepat dilakukan pada ruas tertentu dibandingkan memperbesar diameter seluruh jaringan. Sembilan IPAL fabrikasi dipilih berdasarkan volume efektif. Contoh IPAL A menerima debit 14,16 m³/hari. Dengan faktor keamanan 1,2 dan HRT enam jam diperoleh:

$$V_{ef} = 14,16 \times \left(\frac{6}{24}\right) \times 1,2 = 4,248 \text{ m}^3$$

Kapasitas nominal dipilih 5 m³. Cara yang sama diterapkan pada unit lain. Angka pada kolom volume efektif adalah kebutuhan tampungan, bukan debit harian.

Tabel 3. Kapasitas IPAL Fabrikasi

IP AL	Cluster	Debit pelayanan (m ³ /hari)	Volume efektif (m ³)	Kapasitas terpilih (m ³)
A	Royal Village	14,16	4,248	5
B	Royal Village	15,68	4,704	5
C	Park Royal	17,60	5,280	6
D	Park Royal	37,12	11,136	14
E	Tirta Harmoni	10,24	3,072	4
F	Tirta Tiara	8,96	2,688	3
G	Tirta Tiara	17,28	5,184	6
H	Tirta Pelangi	44,78	13,434	14
I	Tirta Pelangi	15,52	4,656	5

Sumber : Hasil Perhitungan

Kapasitas nominal dipilih satu tingkat di atas volume efektif yang dibutuhkan agar tersedia ruang pengaman terhadap variasi debit masuk. Berdasarkan hasil tersebut, sistem menggunakan satu unit 3 m³, satu unit 4 m³, tiga unit 5 m³, dua unit 6 m³, dan dua unit 14 m³.

Sistem modular lebih adaptif terhadap topografi dan keterbatasan lahan, tetapi memerlukan pengawasan sambungan rumah agar tidak terjadi aliran salah arah. Karena tidak tersedia data BOD, COD, TSS, dan mikrobiologi, hasil hanya menyatakan kecukupan volume, bukan kepatuhan mutu efluen [6], [10], [15].

3.4 Hujan Rancangan dan Debit Banjir

Data hujan maksimum dari tiga stasiun diperiksa melalui kurva massa ganda dan dikoreksi pada periode yang menunjukkan perubahan kemiringan. Hujan wilayah selanjutnya diuji homogenitasnya. Distribusi Gumbel Tipe I dipilih karena sesuai dengan parameter statistik dan diterima oleh uji Smirnov-Kolmogorov serta Chi-Square. Hasil utama analisis ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Analisis Hidrologi

Parameter	Hasil	Keterangan
Periode data	2015-2024	10 tahun
Stasiun	Singosari, Ciliwung, Karangploso	Kurva massa ganda
Distribusi	Gumbel Tipe I	Diterima kedua uji
Kala ulang	10 tahun	Dasar desain

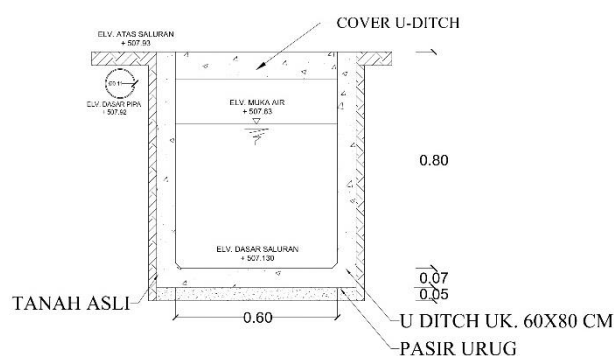
Hujan rancangan	106,713 mm/hari	Nilai final
Koefisien C	0,2996	Rumah + jalan
Debit maksimum	0,37236 m ³ /detik	Metode Rasional
Smirnov–Kolmogorov	14,72% < 41%	Diterima
Chi-Square	3,561 < 14,017	Diterima

Sumber : Hasil Perhitungan

Penerimaan Distribusi Gumbel tidak hanya didasarkan pada kedekatan parameter statistik, tetapi juga pada hasil uji kesesuaian. Nilai maksimum selisih peluang pada uji Smirnov–Kolmogorov lebih kecil daripada nilai kritis, sedangkan nilai Chi-Square hitung juga berada di bawah nilai kritis. Dengan demikian, distribusi Gumbel dapat digunakan untuk memperkirakan hujan rancangan kala ulang 10 tahun. Hujan rancangan tersebut selanjutnya dikonversi menjadi intensitas hujan menurut waktu konsentrasi masing-masing daerah tangkapan. Nilai 106,713 mm/hari digunakan secara konsisten sebagai hujan rancangan. Koefisien 0,2996 merupakan nilai komposit, sehingga lebih mewakili respons permukaan dibandingkan satu koefisien tunggal untuk seluruh kawasan. Debit maksimum 0,37236 m³/detik merupakan nilai terbesar dalam jaringan; setiap ruas tetap dianalisis berdasarkan tangkapan lokal dan aliran hulu. Karena Metode Rasional bersifat linier, ketelitian input C, I, dan A secara langsung menentukan ketelitian debit.

3.5 Evaluasi Hidraulika dan Redimensi Drainase

Evaluasi dilakukan terhadap kondisi awal, penyesuaian elevasi, bangunan terjun, dan redimensi. Contoh saluran A6-A7 memiliki debit kumulatif 0,2456 m³/detik, lebar dan tinggi eksisting 0,43 m, panjang 29,70 m, serta beda elevasi dasar 2,00 m. Kemiringan tersebut menghasilkan kecepatan dan bilangan Froude yang terlalu tinggi; Fr kondisi awal sebesar 2,906 menunjukkan aliran superkritis. Bangunan terjun sedalam 1,80 m kemudian digunakan untuk mengurangi kemiringan efektif. Kecepatan turun menjadi 1,4317 m/detik, tetapi kapasitas penampang awal masih belum cukup.



Gambar 4. U-Ditch 60 x 80 cm

Sumber : Hasil Perencanaan

Ruas tersebut selanjutnya direncanakan ulang menggunakan U-Ditch 60 × 80 cm. Dengan kedalaman air 0,533 m diperoleh $A = 0,320 \text{ m}^2$, $P = 1,667 \text{ m}$, $R = 0,192 \text{ m}$, $V = 1,928 \text{ m/detik}$, dan Q_{kap} sekitar $0,617 \text{ m}^3/\text{detik}$. Bilangan Froude 0,843 menunjukkan kondisi subkritik. Perbandingan ini membuktikan bahwa bangunan terjun dan pembesaran penampang menjalankan fungsi berbeda: bangunan terjun mengendalikan energi, sedangkan redimensi meningkatkan kapasitas.

Tabel 5. Evaluasi Hidraulika dan Redimensi Saluran A6–A7

Kondisi	Penampang	Qrencana (m^3/s)	Q (m^3/detik)	Fr/Status
A6-A7 awal	$0,43 \times 0,43 \text{ m}$	0,2456	Tidak memenuhi	2,906; superkritik
Setelah terjun	Penampang awal	0,2456	Belum memenuhi	$V = 1,4317 \text{ m/s}$
Redimensi	U-Ditch $0,60 \times 0,80 \text{ m}$	0,2456	$\pm 0,617$	0,843; memenuhi

Secara keseluruhan digunakan U-Ditch 60 × 80 cm, Box Culvert 50 × 50 cm, 60 × 60 cm, dan 80 × 80 cm, serta saluran cor di tempat. U-Ditch dipilih pada koridor terbuka yang memerlukan pemasangan cepat; Box Culvert digunakan pada penyeberangan atau saluran tertutup; sedangkan cor di tempat digunakan ketika dimensi harus menyesuaikan ruang dan elevasi eksisting. Inlet sebanyak 44 unit direncanakan agar limpasan permukaan dapat masuk ke jaringan. Bangunan terjun ditempatkan pada ruas dengan beda tinggi besar untuk mencegah gerusan dan menjaga elevasi dasar.

3.6 Metode Pelaksanaan, Biaya, dan Implikasi

Pelaksanaan jaringan pipa dimulai dari pengukuran dan penetapan elevasi, pembongkaran, galian, persiapan dasar, pemasangan pipa, pengujian, urugan, dan pengembalian permukaan. Pemasangan IPAL mencakup pemeriksaan unit, galian dan dasar, penurunan tangki, sambungan inlet-outlet, pekerjaan mekanikal-elektrikal, pengisian air, urugan

4. KESIMPULAN

1. Perencanaan sistem terpisah didasarkan pada 528 rumah dan penduduk rencana 2034 sebanyak 2.138 jiwa. Debit air limbah domestik sebesar $171,04 \text{ m}^3/\text{hari}$.
2. Air limbah dialirkan menggunakan pipa PVC 4 inci sepanjang 8.819,22 m menuju sembilan IPAL fabrikasi. Kapasitas unit terdiri atas satu unit 3 m^3 , satu unit 4 m^3 ,

berlapis, manhole, pengujian kebocoran, dan *commissioning*. Saluran pracetak dipasang dengan kontrol elevasi sambungan agar tidak terbentuk hambatan lokal.

Volume utama meliputi galian pipa $4.330,055 \text{ m}^3$, urugan pasir $1.511,268 \text{ m}^3$, urugan kembali $2.737,458 \text{ m}^3$, dan pemasangan pipa 8.819,221 m. Pada drainase digunakan galian $85,192 \text{ m}^3$, urugan pasir $9,704 \text{ m}^3$, urugan kembali $59,006 \text{ m}^3$, serta cor di tempat $50,68 \text{ m}^3$. Nilai ini mengikuti tabel perhitungan rinci dalam skripsi.

Tabel 6. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No.	Deskripsi	Total (Rp)
I	Pekerjaan IPAL	4.073.187.605,41
II	Pekerjaan Drainase	304.096.487,46
	Subtotal	4.377.284.092,88
	PPN 12%	525.274.091,15
	Total	4.902.558.184,02
	Pembulatan	4.902.558.184,10

Sumber : Hasil Perhitungan

Pekerjaan pipa dan IPAL menjadi komponen dominan karena panjang jaringan mencapai 8,8 km, pekerjaan tanah besar, dan terdapat sembilan unit pengolahan. Nilai RAB merupakan biaya konstruksi berdasarkan harga satuan yang digunakan dalam penelitian. Biaya operasi, pengurusan lumpur, pembersihan saluran, perbaikan permukaan setelah masa layanan, dan pembebasan lahan tidak termasuk. Implementasi dapat dilakukan per cluster, tetapi tahapannya harus tetap menuju konfigurasi akhir yang terpisah. Pemisahan parsial tanpa pengawasan sambungan dapat mempertahankan risiko koneksi ilegal sebagaimana dibahas pada jaringan perkotaan [1], [2].

Keterbatasan penelitian meliputi deret hujan sepuluh tahun, ketelitian elevasi lapangan, penggunaan model aliran

seragam, dan belum adanya pengukuran mutu air limbah. Sebelum konstruksi diperlukan survei elevasi detail, pemeriksaan utilitas, konfirmasi lahan IPAL, dan pembaruan harga satuan. Pada tahap operasi, manhole, inlet, saluran, bangunan terjun, dan unit IPAL perlu diperiksa secara terjadwal.

tiga unit 5 m^3 , dua unit 6 m^3 , dan dua unit 14 m^3 . Kesimpulan dibatasi pada kecukupan kapasitas hidraulik.

3. Analisis hidrologi memperoleh hujan rancangan kala ulang 10 tahun sebesar $106,713 \text{ mm/hari}$. Dengan koefisien pengaliran komposit 0,2996, debit banjir maksimum sebesar $0,37236 \text{ m}^3/\text{detik}$.

4. Ruas yang tidak memenuhi direncanakan ulang menggunakan U-Ditch 60×80 cm, Box Culvert 50×50 cm sampai 80×80 cm, dan saluran cor di tempat. Bangunan terjun mengendalikan energi pada beda elevasi besar dan membantu mengubah aliran menjadi subkritis.
5. Total RAB jaringan pipa, sembilan IPAL fabrikasi, drainase, dan bangunan pelengkap termasuk PPN 12% sebesar Rp4.902.558.184,10. Pelaksanaan dapat diprioritaskan per cluster dengan tetap mempertahankan tujuan akhir berupa pemisahan penuh air limbah dan air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Statistik Daerah Kabupaten Malang 2024," BPS Kabupaten Malang, Malang, 2024.
- [2] S. N. Khotimah, N. A. Mardhotillah, and N. Arifaini, "Karakterisasi Limbah Cair Greywater pada Level Rumah Tangga Berdasarkan Sumber Emisi," *Prosiding Saintis*, vol. 21, no. 02, 2021. [Online]. Available: [https://doi.org/10.25299/saintis2021.vol21\(02\).7876](https://doi.org/10.25299/saintis2021.vol21(02).7876)
- [3] P. Familia, Darmadi, and T. Fadhlullah, "Perencanaan Saluran Drainase Perumahan Familia Urban Cluster Amethyst Kota Bekasi," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 23, no. 2, pp. 109-115, 2024.
- [4] I. K. Rahmanda, M. Nuranggraeni, M. L. Stevila, and R. Hidayat, "Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Perumahan Green Hills Residence, Cilacap Utara, Cilacap," *Jurnal Komposit*, vol. 7, no. 2, pp. 205-213, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.9131>
- [5] N. Salman, F. M. L. Taqwa, and M. Lutfi, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Perumahan Griya Prima Sriwijaya dan Perumahan Deyhan Abadi, Kota Palembang," *Jurnal Komposit*, vol. 5, no. 2, p. 95, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32832/komposit.v5i2.6294>
- [6] D. Baderan, P. J. Ekwanto, and M. S. Hamidun, "Efisiensi Pengolahan Air Limbah Domestik pada IPAL Komunal di Kabupaten Bone Bolango," *Jurnal Teknik*, vol. 21, no. 1, pp. 77-91, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37031/jt.v21i1.322>
- [7] F. Pratama, R. I. Hapsari, and M. Zenurianto, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Pada Perumahan D'Park City Kabupaten Malang," *Jurnal Teknik Sipil*, 2020.
- [8] A. Y. Cristianoro, R. I. Hapsari, and U. R. Pudjowati, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Pada Perumahan Bukit Shangrilla Asri Kabupaten Malang," *Jurnal Online Sistem Manajemen Rekayasa Konstruksi*, pp. 1-10, 2020.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Perencanaan Sistem Drainase Perkotaan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2020.
- [10] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) Buku A*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1996.
- [11] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset, 2004.
- [12] A. Suliwa, Nurhayati, and H. Herawati, "Analisis Konsistensi dan Homogenitas Curah Hujan di DAS Sekadau," *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, vol. 11, no. 1, pp. 1-6, 2022.
- [13] A. Mansida, A. Nurdin, W. Asriningsih, P. M. Agusalm, and A. Rokhmawati, *Drainase Perkotaan Berkelanjutan*. Get Press Indonesia, 2024.
- [14] R. J. Kodoatie and R. Sjarief, *Hidrologi Terapan: Air Tanah dan Drainase Perkotaan*. Yogyakarta: Andi Offset, 2021.
- [15] M. Abdus et al., "Perencanaan Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Limbah Domestik Industri Produksi Bahan Kimia PT X Jawa Timur," *GLOBE*, vol. 3, no. 1, pp. 39-50, 2025