

Perencanaan Pompa Hidram Untuk Sistem Irigasi dengan EPANET di Kabupaten Lamongan

Yuliasuti, D.I¹, Sugiharto, B.A¹, Vansya, M.L.D¹, Kuncaravita, S.A¹, Apriliani, R.A¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo, Surabaya

*dayatindri@unitomo.ac.id

Abstract

The availability of irrigation water is crucial for agricultural productivity, especially in regions facing significant topographical challenges. In Daliwangun Village, Lamongan Regency, a 15–25 meter elevation difference between the Gondang Reservoir and local farmlands renders gravity-based distribution impossible. This study designs a sustainable irrigation system using hydraulic ram pumps (hydrams) that operate without electricity or fuel. Analysis indicates that the peak irrigation demand for the paddy–paddy–palawija cropping pattern occurs in August at 1.6 L/s. To meet this requirement, the system utilizes two 4-inch hydram units, each providing an effective capacity of 2.0 L/s. The distribution network features a DN150 mm main pipe extending approximately 1,500 m, with friction-induced energy loss calculated via the Hazen–Williams method. Hydraulic validation using EPANET software confirms that the system delivers stable water distribution with safe pressure and flow rates. Ultimately, this hydram system is highly feasible, effectively irrigating 23–25 hectares and providing a sustainable solution to the region's irrigation challenges. The availability of irrigation water is crucial for agricultural productivity, especially in regions with significant elevation challenges.

Keywords: Hydraulic Ram Pump, Irrigation, Reservoir, Hydraulic Analysis, Land Elevation

Abstrak

Ketersediaan air irigasi sangat krusial bagi produktivitas pertanian, terutama di wilayah yang menghadapi tantangan topografi yang signifikan. Di Desa Daliwangun, Kabupaten Lamongan, perbedaan ketinggian sebesar 15–25 meter antara Waduk Gondang dan lahan pertanian setempat membuat distribusi air berbasis gravitasi tidak mungkin dilakukan. Penelitian ini merancang sistem irigasi berkelanjutan menggunakan pompa hidram (*hydraulic ram pump*) yang beroperasi tanpa listrik maupun bahan bakar.

Analisis menunjukkan bahwa puncak kebutuhan irigasi untuk pola tanam padi–padi–palawija terjadi pada bulan Agustus sebesar 1,6 L/s. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sistem ini menggunakan dua unit pompa hidram berukuran 4 inci, yang masing-masing menyediakan kapasitas efektif sebesar 2,0 L/s. Jaringan distribusi ini menggunakan pipa utama DN150 mm sepanjang kurang lebih 1.500 m, dengan kehilangan energi akibat gesekan yang dihitung melalui metode Hazen–Williams. Validasi hidrolik menggunakan perangkat lunak EPANET mengonfirmasi bahwa sistem ini mampu menyalurkan air secara stabil dengan tingkat tekanan dan laju aliran yang aman. Pada akhirnya, sistem hidram ini sangat layak untuk diterapkan karena efektif mengairi 23–25 hektar lahan dan memberikan solusi berkelanjutan bagi tantangan irigasi di wilayah tersebut.

Kata Kunci: Pompa Hidram, Irigasi, Waduk, Analisa Hidraulik, Elevasi Lahan

PENDAHULUAN

Sebagai negara agraris dengan iklim tropis, sektor pertanian merupakan pilar strategis dalam menjaga ketahanan pangan nasional Indonesia. Keberhasilan sektor ini sangat bergantung pada pengelolaan sumber daya air melalui sistem irigasi yang mampu menjamin pasokan air secara stabil, kontinu, dan efisien demi menunjang produktivitas lahan sawah sepanjang musim tanam (BPS, 2023; Kementerian Pertanian RI, 2022; FAO, 2021).

Namun, distribusi air irigasi di Indonesia masih menghadapi tantangan besar, khususnya di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur dan kondisi topografi yang tidak memungkinkan pengaliran air secara gravitasi. Kendala ini dialami oleh Desa Daliwangun, Kecamatan Sugio, Kabupaten Lamongan, di mana potensi lahan sawah seluas ±23 hektar belum tergarap optimal karena lokasinya berada pada elevasi yang lebih tinggi dibandingkan sumber air utama, yaitu Waduk Gondang (Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo, 2022). Akibatnya, lahan pertanian di desa tersebut, termasuk yang berbatasan dengan Desa Juwet dan Desa Lawangan Agung, sangat bergantung pada curah hujan. Kondisi ini meningkatkan risiko gagal panen pada musim kemarau, padahal pola tanam padi–padi–palawija

yang diterapkan memerlukan ketersediaan air yang berkelanjutan (Dinas Pertanian Lamongan, 2023).

Adanya perbedaan elevasi lahan antara waduk dengan lahan irigasi, penggunaan pompa konvensional yang tidak ramah lingkungan serta kebutuhan irigasi pada musim kemarau di Desa Daliwangun yang belum terpenuhi merupakan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini.

Sebagai solusi alternatif, teknologi pompa Hidram (*hydraulic ram pump*) dapat dimanfaatkan untuk mengatasi hambatan elevasi tersebut. Pompa ini bekerja dengan memanfaatkan energi potensial aliran air tanpa sumber energi eksternal seperti listrik atau bahan bakar fosil, sehingga selaras dengan prinsip konservasi energi dan pembangunan pertanian berkelanjutan. Selain konstruksinya yang sederhana dan ramah lingkungan, teknologi ini berpotensi meningkatkan kemandirian petani dalam pengelolaan air (Kuncoro & Wangi, 2021).

Meskipun demikian, efektivitas pompa hidram sangat bergantung pada akurasi perencanaan teknis, mulai dari perhitungan debit sumber air, tinggi angkat (*head*), hingga kapasitas pompa yang sesuai dengan kebutuhan air tanaman (Eka, Wardianto & Pratama, 2024). Oleh karena itu, diperlukan kajian teknis yang komprehensif, termasuk

pemodelan hidraulik jaringan perpipaan menggunakan perangkat lunak EPANET untuk mensimulasikan debit, tekanan, dan kehilangan energi (*headloss*) secara akurat (Rossman dkk., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan irigasi dan merancang sistem pompa Hidram yang aplikatif serta hemat energi bagi masyarakat Desa Daliwangun.

Secara keseluruhan, perencanaan sistem irigasi berbasis pompa Hidram ini diharapkan tidak hanya menjadi solusi teknis atas kendala topografi, tetapi juga merupakan langkah strategis dalam memberdayakan ekonomi lokal di Kabupaten Lamongan. Dengan terjaminnya pasokan air sepanjang tahun, intensitas penanaman dapat ditingkatkan tanpa terbebani biaya operasional energi yang tinggi, yang pada gilirannya akan menstabilkan pendapatan petani di Desa Daliwangun. Selain itu, hasil dari kajian ini diharapkan juga dapat menjadi rujukan atau model replikasi bagi wilayah-wilayah lain di Indonesia yang memiliki karakteristik geografis serupa, guna mempercepat pemerataan infrastruktur air yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di sektor pertanian.

METODE

Penelitian ini merupakan studi terapan (*applied research*) dengan pendekatan kuantitatif yang difokuskan pada perencanaan sistem irigasi alternatif menggunakan teknologi pompa hidram. Berlokasi di Desa Daliwangun, Kecamatan Sugio, Kabupaten Lamongan, penelitian ini berlangsung selama tujuh bulan, mulai dari Januari hingga Juli 2025. Pemilihan lokasi didasarkan pada karakteristik topografi wilayah tersebut, di mana sumber air utama dari Waduk Gondang berada pada elevasi yang lebih rendah dibandingkan lahan pertanian, sehingga diperlukan solusi teknis yang efisien untuk mengangkat air menuju sawah penduduk.

Proses pengumpulan data dilakukan secara komprehensif melalui dua jalur utama, yakni perolehan data primer dan sekunder. Data primer didapatkan melalui survei lapangan yang mencakup pengukuran parameter teknis seperti tinggi jatuh (*drive head*), tinggi angkat (*delivery head*), debit sumber air, serta pemetaan rute jaringan perpipaan. Untuk memperkuat analisis, dilakukan pula wawancara mendalam dengan perangkat desa dan petani setempat guna mengidentifikasi pola tanam, jadwal pengairan, serta kendala distribusi air yang sering dihadapi baik pada musim hujan maupun kemarau. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari instansi terkait, meliputi data hidrologi, curah hujan, dan peta topografi wilayah.

Tahapan analisis data dimulai dengan evaluasi topografi untuk menentukan beda tinggi antara sumber air dan lahan irigasi sebagai landasan penentuan metode distribusi. Selanjutnya, dilakukan analisis curah hujan dan pola tanam untuk menghitung kebutuhan air irigasi pada setiap periode, yakni Padi pada Musim Tanam (MT) I dan II, serta Palawija pada MT III. Analisis neraca air (*water balance*) kemudian dilakukan untuk membandingkan ketersediaan air dari reservoir dengan kebutuhan total lahan, yang hasilnya menjadi dasar dalam menentukan kapasitas

pompa hidram, termasuk perhitungan debit masuk (*drive flow*) dan debit yang mampu dipompa.

Untuk Perhitungan debit andalan dilakukan dengan pendekatan metode F.J. Mock yang mengaitkan curah hujan efektif dengan karakteristik daerah aliran sungai (*catchment area*) (Sri Harto, 1993).

Kebutuhan air irigasi menggunakan metode Van de Goor dan Zijlstra (1968) yang mengasumsikan laju pemberian air konstan selama periode persiapan.

$$IR = \frac{M \times e_k}{(e_k - 1)} \quad (1)$$

Keterangan:

R = Kebutuhan air irigasi (mm/hari)

M = Kebutuhan air untuk menggantikan kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi

e_k = Efisiensi penggunaan air

Nilai M dihitung sebagai:

$$M = E_o + P \quad (2)$$

Pada praktiknya, kebutuhan air penyiapan lahan sawah berkisar antara 200–250 mm, tergantung pada tekstur tanah dan lama penggenangan. Nilai ini mencakup proses penjemuran tanah (*pre-saturation*) dan penggenangan awal, serta tambahan lapisan air sekitar 50 mm pada saat transplantasi padi (KP-01, 2013).

Kebutuhan air konsumtif dihitung sebagai evapotranspirasi aktual tanaman (ET_c) dengan persamaan (Allen dkk., 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (3)$$

Keterangan:

ET_c = Evapotranspirasi aktual (mm/hari)

K_c = Koefisien tanaman

ET_0 = Evapotranspirasi referensi

Pada tahap akhir, dilakukan evaluasi kinerja sistem melalui pemodelan jaringan perpipaan menggunakan perangkat lunak EPANET. Simulasi ini memungkinkan peneliti untuk menganalisis parameter hidraulik secara detail, seperti distribusi tekanan pada setiap simpul, kecepatan aliran di dalam pipa, hingga potensi kehilangan energi (*headloss*). Hasil dari simulasi digital ini digunakan untuk memverifikasi akurasi perhitungan manual, sekaligus memastikan bahwa seluruh sistem irigasi yang direncanakan dapat mendistribusikan air secara stabil dan optimal ke lahan sawah di Desa Daliwangun.

Kerugian gesek mayor terjadi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa. Untuk aliran air dalam pipa bertekanan, salah satu metode yang umum digunakan adalah persamaan Hazen–Williams, yang dinyatakan sebagai (Krol, 1990):

$$h_f = \frac{10,67 \cdot L \cdot Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,8704}} \quad (4)$$

Keterangan:

h_f = kehilangan tinggi energi akibat gesekan (m),

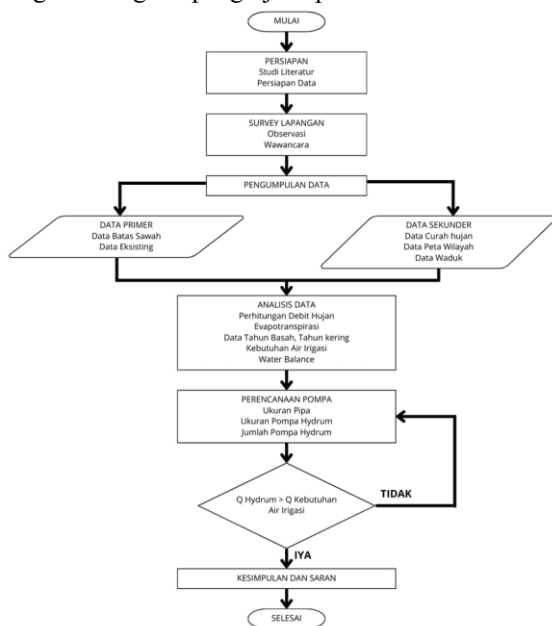
L = panjang pipa (m),

Q = debit aliran (m^3/s),

C = koefisien kekasaran Hazen–Williams,

D = diameter pipa (m).

Pada Gambar 1 merupakan *flowchart* runtutan dan langkah- langkah pengerjaan penelitian in



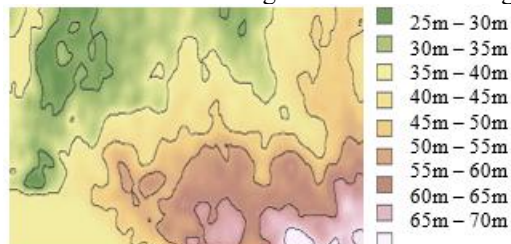
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data primer dan sekunder yang mendukung penelitian. Kegiatan utamanya meliputi:

Pengamatan Topografi: Menggabungkan data primer kontur dan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Qgis untuk menganalisis elevasi dan kemiringan lereng wilayah penelitian (gambar 2 dan 3). Hasilnya menunjukkan elevasi Waduk Gondang berada pada 30–35 mdpl, sedangkan lahan sawah di Desa Daliwangun pada 60–67 mdpl, dengan selisih elevasi 30–32 meter. Hal ini membuktikan distribusi gravitasi tidak memungkinkan.



Gambar 2. Peta Topografi
Sumber: Google Earth (2025)



Gambar 3. Kontur Wilayah
Sumber: Google Earth (2025)

Pemetaan Jalur Distribusi: Menggunakan *Google Earth* (gambar 4) untuk memetakan jalur pipa dari sumber air (Waduk Gondang) ke lahan sawah, dengan panjang sekitar 1,5–2 km dan kemiringan lereng rata-rata 1% (landai).



Gambar 4. Jalur Pipa
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

Identifikasi Daerah Aliran Sungai (DAS): Melakukan interpretasi citra dan data spasial untuk mengidentifikasi DAS Waduk Gondang yang memiliki luas ±23 Ha dengan penggunaan lahan dominan pertanian, hutan rakyat, dan permukiman.

Analisis Ketersediaan Air dan Kebutuhan Air Sawah

Analisis ini dilakukan untuk memastikan kecukupan air dari sumber terhadap kebutuhan lahan.

Ketersediaan Air (Debit Andalan): Debit andalan Waduk Gondang dianalisis menggunakan metode F.J. Mock berdasarkan data curah hujan 10 tahun (2015-2024). Debit andalan dengan probabilitas 80% (Q80) atau tahun kering (Q66) pada bulan ter-kritis (Agustus) adalah 0,43 m³/detik (430 L/s), yang jauh melebihi kebutuhan irigasi. (Tabel 1)

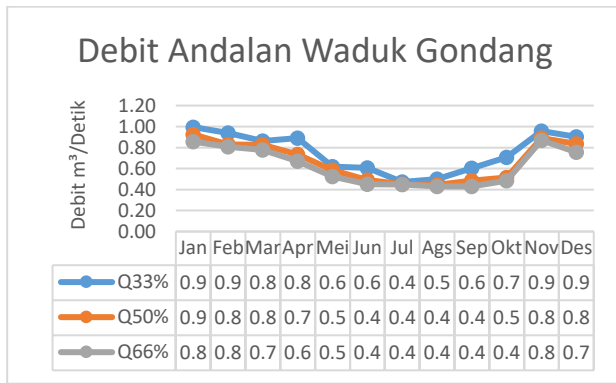
Kebutuhan Air Sawah: Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan pola tanam Padi-Padi-Palawija pada lahan seluas 23 hektar. Perhitungan melibatkan evapotranspirasi (menggunakan metode Penman-Modifikasi), curah hujan efektif, dan koefisien tanaman (Kc) sesuai KP-01. Hasil analisis menunjukkan kebutuhan debit puncak (Qpeak) adalah 1,6 L/s yang terjadi pada bulan Agustus (musim kemarau).

Tabel 1. Kebutuhan Air Sawah

Parameter	Nilai
Luas lahan	23 Ha
Kebutuhan air maksimum	1,6 L/det
Evapotranspirasi	sesuai data klimatologi
Curah hujan efektif	hasil analisis curah hujan

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

Pada Gambar 5 di bawah terlihat bahwa pada bulan Juli sampai Oktober adalah bulan-bulan kritis yang memerlukan suplai air sawah terbanyak, ini sesuai dengan kondisi di lapangan dimana musim tanam ke III (MT III) adalah musim kemarau yang terjadi antara bulan Juni-Oktober.



Gambar 5. Debit Andalan Waduk Gondang
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

Analisa Keseimbangan Air

Neraca air dilakukan untuk mengetahui kesetimbangan antara air yang masuk (*inflow*) dan keluar (*outflow*) dari Waduk Gondang.

Inflow: Debit air yang masuk ke waduk berasal dari DAS seluas 23 Ha yang dihitung dengan metode F.J. Mock.

Outflow: Terdiri dari kebutuhan air irigasi (1,6 L/s), kebutuhan air baku (0,01 m³/s), dan evaporasi.

Hasil: Analisis neraca air menunjukkan bahwa pada beberapa periode terjadi defisit, namun volume tampungan efektif waduk (18,43 juta m³) masih mampu menutupinya. Kondisi tampungan waduk selalu “CUKUP” sepanjang tahun analisis, tidak terjadi *spill out* (kelebihan air yang terbuang) maupun kondisi kritis. Dengan demikian, ketersediaan air dari Waduk Gondang lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan penelitian ini.

Perencanaan Pompa Hidram

Perencanaan pompa hidram didasarkan pada ketidakmungkinan sistem gravitasi dan kebutuhan untuk solusi energi ramah lingkungan, karena sumber air (waduk) berada lebih rendah dari lahan sawah dan tidak memerlukan sumber energi listrik/bahan bakar, hanya memanfaatkan energi kinetik air (*drive head*). Berikut adalah poin-poin dalam perencanaan pompa hidram:

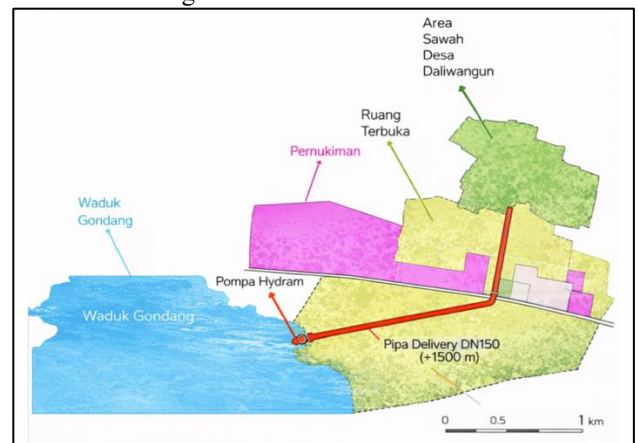
1. Penentuan Jumlah Unit Pompa: Debit puncak adalah 1,6 L/s. Dengan kapasitas satu unit pompa hidram 4" sekitar 2,0 L/s, secara teknis hanya dibutuhkan 1 unit. Namun, untuk redundansi dan keandalan, direncanakan penggunaan 2-unit pompa hidram 4" yang dipasang paralel.
2. Penggunaan 2-unit pompa memberikan keuntungan, yaitu: redundansi saat pemeliharaan atau gangguan operasi, fleksibilitas operasi mengikuti variasi kebutuhan dan umur peralatan lebih panjang karena beban kerja terbagi.
3. Perhitungan *Head*:

Dalam perencanaan ini:

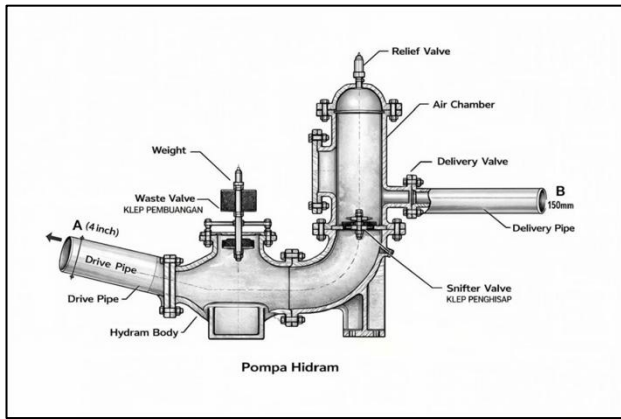
- a) Elevasi muka air waduk Gondang berada pada kisaran ±36 m
- b) Elevasi titik tertinggi lintasan sistem irigasi (pada jalur transmisi menuju sawah) mencapai ±67 m.

- c) Sehingga perbedaan elevasi maksimum yang harus diatasi oleh sistem pemompaan adalah: $\Delta z = 67 - 36 = 31$ m
- d) Nilai ini kemudian dibulatkan menjadi 32 m untuk memasukkan faktor keamanan perencanaan (*safety margin*), yang lazim diterapkan dalam perhitungan hidraulik agar sistem tetap berfungsi pada kondisi fluktuasi muka air dan ketidakpastian lapangan.

4. Total *Dynamic Head* (TDH) dihitung dari:
 - a) Selisih elevasi (Δz): 32 m
 - b) Kerugian gesek mayor (Hazen-Williams, pipa DN150): 0,12 m
 - c) Kerugian minor (katup, belokan): 1,5 m
 - d) Total TDH: ≈33,62 m
5. Nilai TDH ini menunjukkan bahwa kebutuhan head sistem didominasi oleh elevasi, sedangkan rugi gesek pipa relatif sangat kecil. Oleh karena itu, pemilihan pipa DN150 dinilai tepat dan efisien. Dalam perencanaan awal ini, kehilangan energi minor tidak dihitung satu per satu secara rinci, melainkan diambil secara konservatif sebesar 1,5 m, yang mewakili: beberapa belokan pipa, katup kontrol dan sambungan masuk – keluar pompa. Pendekatan ini lazim digunakan pada tahap perencanaan konseptual dan studi kelayakan, sebagaimana direkomendasikan dalam literatur hidraulika, dengan asumsi bahwa kehilangan minor berkisar antara 5–10% dari total head sistem atau dapat diwakili oleh nilai tetap antara 1–2 m untuk jaringan pipa skala kecil–menengah.



Gambar 6. Penempatan Pompa Hidram dan Pipa Delivery
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)



Gambar 7. Pompa Hidram
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

Gambar 6 adalah gambar penempatan pompa hidram dan pipa pembawa (delivery), dimana untuk pompa hidram akan dipasang sepanjang 10 m dari waduk, dan pompa pembawa sepanjang 1500 m dengan dibagi menjadi 6 unit pipa pembawa (tiap 250 m). Gambar 7 adalah gambar pompa hidram yang akan digunakan, dengan ukuran *drive pipe* 4" dan *delivery pipe* diameter 150 mm.

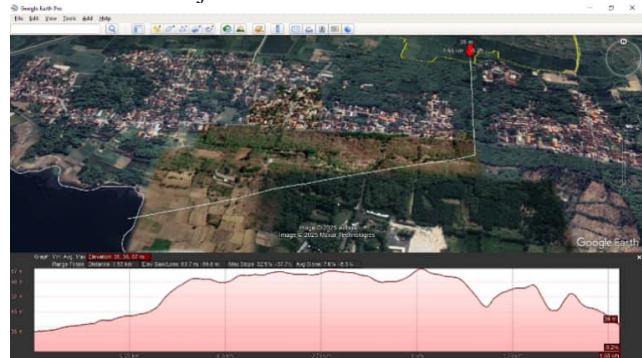
Perencanaan Distribusi Air dan Simulasi

Perencanaan jaringan distribusi dan simulasi dilakukan untuk memastikan sistem dapat mendistribusikan air dengan tekanan yang memadai.

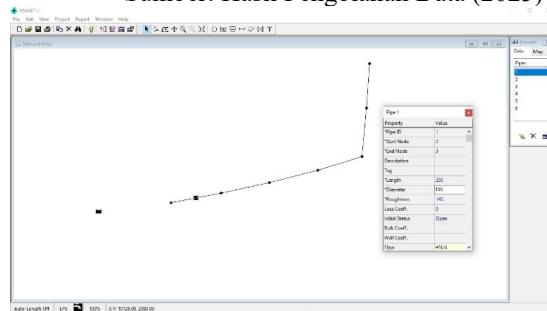
1. Perencanaan Jaringan Pipa: Pipa transmisi utama direncanakan dari HDPE/PVC dengan diameter DN150 (0,15 m) sepanjang ±1500 m. Pemilihan diameter ini berdasarkan perhitungan yang menunjukkan kerugian gesek yang sangat kecil (0,12 m).
2. Simulasi EPANET: Pemodelan jaringan dilakukan dengan perangkat lunak EPANET. Parameter input meliputi:
 - a) Elevasi *node* (sumber, titik puncak, *outlet*).
 - b) Karakteristik pipa (diameter, panjang, koefisien kekasaran Hazen-Williams $C=140$).
 - c) Kebutuhan air (*base demand* 1,6 L/s di *node outlet* dengan pola variasi harian).
 - d) Kurva pompa hidram (didekati dengan data generik: debit 0 L/s pada *head* 40 m dan debit 2 L/s pada *head* 38 m).
3. Hasil Simulasi: Simulasi selama 24 jam menunjukkan:
 - a) Sistem bekerja stabil. Tekanan pada *node outlet* berkisar antara 34,88 - 35,57 m ($\approx 342 - 349$ kPa).
 - b) Tidak terjadi tekanan negatif di seluruh titik dalam jaringan.
 - c) Seluruh variasi kebutuhan debit harian (0,8 - 1,6 L/s) dapat terpenuhi.
 - d) Desain jaringan dinyatakan layak secara hidraulik dan mampu mendistribusikan air secara kontinu.

e) Sehingga, sistem tidak menunjukkan indikasi risiko kavitasi, *backflow*, maupun kegagalan struktural pipa, sehingga aman dari sisi tekanan hidraulik.

4. Dengan demikian, sistem irigasi berbasis jaringan pipa dan pompa hidram dinyatakan layak secara hidraulik untuk dioperasikan dan mampu mendukung kebutuhan irigasi lahan secara berkelanjutan.



Gambar 8. Titik *Outlet* Irigasi
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)



Gambar 9. Titik Pipa dalam EPANET
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2025)

Gambar 8 di atas menunjukkan bahwa elevasi yang ada di lapangan naik turun sehingga dalam penentuan titik pipa pembawa sangat berpengaruh terhadap kelancaran distribusi air.

Gambar 9 menunjukkan letak titik pipa pembawa dan pompa hidram sebelum *running* EPANET

Dengan elevasi *outlet* sebesar 39 m dan *head* sistem berkisar antara 73–75 m, tersedia sisa *head* sekitar 34–36 m yang termanifestasi sebagai tekanan pada *node outlet*. Sisa *head* ini memberikan keuntungan sebagai berikut:

- a) Tekanan yang cukup untuk mendukung sistem irigasi berbasis gravitasi.
- b) Cadangan tekanan yang memadai untuk mengatasi kehilangan energi minor akibat katup, sambungan, dan percabangan pipa.
- c) Fleksibilitas pengembangan jaringan, seperti penambahan cabang distribusi atau perluasan area layanan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi elevasi, diameter pipa, dan konfigurasi jaringan telah dirancang secara efisien.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa daerah irigasi Daliwangun disarankan untuk:

1. Menggunakan pipa transmisi DN150 (0,15 m) sepanjang ± 1.500 m untuk menjaga rugi gesek tetap kecil.
2. Menggunakan 2 unit pompa hidram 4" sebagai kapasitas terpasang awal.
3. Dengan menggunakan poin 1 dan 2 dinyatakan mampu memenuhi kebutuhan debit irigasi sebesar 1,6 L/s dengan Total *Dynamic Head* (TDH) sekitar 33–34 m. Sumber air Waduk Gondang dengan debit andalan Q66 sebesar 0,43 m³/s sangat mencukupi, sehingga sistem irigasi berbasis pompa Hidram layak digunakan sebagai solusi penyediaan air irigasi berkelanjutan.
4. Poin 1 menunjukkan kerugian energi akibat gesekan yang sangat kecil dan tidak signifikan terhadap *head* total sistem, sehingga tekanan dan distribusi aliran air tetap stabil. Hasil simulasi EPANET menunjukkan bahwa sistem mampu mengalirkan air secara kontinyu ke lahan sawah tanpa tekanan negatif, sehingga perencanaan jaringan perpipaan dinyatakan efektif dan memenuhi persyaratan teknis keberlanjutan sistem irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, dkk. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Arif, S., Nurcholis, M., & Himawan, I. Q. (2021). Perencanaan jaringan irigasi berdasarkan analisis ekspedisi topografi dan pola pengaliran menggunakan data lidar di desa sindanglaya, kabupaten serang, provinsi banten. *Jurnal Tanah dan Air (Soil and Water Journal)*, 18(2), 48–56.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik pertanian Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik.
- Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. (2022). *Profil Waduk Gondang*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Eka Putra, I., Wardianto, D., & Pratama, A. (2024). Variasi Ketinggian Sumber Air Terhadap Tekanan Dan Debit Air Pompa Hidram. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 2(2), 77–83. <https://doi.org/10.21063/jtv.2024.2.2.9>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Water for sustainable food and agriculture*. FAO.
- Google Earth. (2024). *Citra dan lokasi geografis Desa Daliwangun, Kecamatan Sugio, Kabupaten Lamongan*. Google LLC.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2022). *Laporan tahunan ketahanan pangan*. Kementerian Pertanian RI.
- Krol, B. (1990). *Water Supply Engineering Design*. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE). Delft, The Netherlands
- Kuncoro, W., & Wangi, W. (2021). Sosialisasi Penggunaan Pompa Hidram dalam Mengoptimalkan Pengairan Lahan di Atas Permukaan Sungai. 2(1), 77–87.
- PT. Multimera Harapan & PT. Mitra Utama Kenzo. (2019). *Laporan studi kelayakan*. [Laporan tidak dipublikasikan].
- Rossman, dkk. (2020). *EPANET User Manual*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C. EPA/600/R-20/133.
- Sri Harto. (1993). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Van de Goor, dkk. (1968). *Irrigation Requirements for Double Cropping of Lowland Rice in Malaya*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI) Publication No. 14, Wageningen, The Netherlands.
- Watt, S. B. (1974). *The hydraulic ram for developing water sources*. (2nd ed.). Intermediate Technology Publications.
- Zeidan, M., & Ostfeld, A. (2022). Hydraulic ram pump integration into water distribution systems for energy recovery application. *Water*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/w14010021>.