JIPSI: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Sains Islam Interdisipiner
Vol. 5, No. 4, November 2026, pp. 3737-3748
http://journal.amorfati.id/index.php/jipsi || ISSN 2962-9187

Interdisciplinary Scope of Science and Education, Islamic Education and Science, Integration of Science and Islam, Islamic Thought and Philosophy, Integration of Social Sciences, Humanities, and Islamic Studies, Islamic Economics and Business Studies, and Islamic Ethics in Science and Technology

Integrasi Analisis Hidraulik dan Tata Kelola Partisipatif dalam Rehabilitasi Jaringan Irigasi Sekunder Sei Ular

Muhammad Fadly Saleh [a,1,*], Ramadan Sugiman [b,2], Qarnila Ridhaniah Rahman [c,3], Yudith Helena Mustakim [d,4], James Thoengsal [e,5],

[a,b,c,d,e] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teknologi Sulawesi, Indonesia

[1]fadly2505@gmail.com, [2]ramaaira.08@gmail.com, [3]qarnilaridhaniah@gmail.com, [4]yudith25@gmail.com, [5]jamsthoengsal@gmail.com
*Correspondent Author: ramaaira.08@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history
Received:
17-08-2026
Revised:
21-09-2026
Accepted:
24-10-2026

Keywords
Rehabilitasi irigasi; Hidraulika saluran; Kapasitas debit; Partisipasi P3A; Sei ular

ABSTRACT

Rehabilitasi irigasi memerlukan keterpaduan antara kapasitas hidraulik, kondisi aset, dan tata kelola distribusi air. Di wilayah Perbaungan, Daerah Irigasi Sei Ular (luas layanan sekitar 5.920 ha) menghadapi sedimentasi, vegetasi, kerusakan lining, dan gangguan bangunan bagi. Kajian deskriptif-analitis ini mengintegrasikan inventarisasi kondisi jaringan, interpretasi hujan dasarian, evaluasi kebutuhan debit, perhitungan Strickler, serta penyusunan prioritas rehabilitasi dan peran perkumpulan petani pemakai air (P3A). Pada SC-3, luas layanan 3.387,40 ha, kebutuhan air bersih 0,975 L/detik/ha, dan asumsi efisiensi 72% menghasilkan debit rencana 4,587 m^3/detik. Pemeriksaan ulang menunjukkan kapasitas geometri acuan (b = 5,00 m; h = 0,727 m; k = 70; I = 0,0005) sebesar 4,585 m^3/detik, sedikit di bawah kebutuhan. Skenario pendalaman muka air menjadi 0,800 m pada tinggi dinding total 1,00 m memberikan kapasitas teoritis 5,387 m^3/detik, atau cadangan 17,4% pada asumsi parameter yang sama. Kontribusi kajian terletak pada pengaitan koreksi desain dengan penanganan hambatan fisik, pengendalian operasi, dan partisipasi P3A. Angka tersebut merupakan penilaian desain awal, bukan bukti peningkatan debit aktual; pengukuran geometri eksisting, evaluasi kehilangan air, dan verifikasi elevasi tetap diperlukan sebelum konstruksi.

This is an open-access article under the CC–BY-SA license.

Introduction

Kinerja jaringan irigasi merupakan persoalan teknis sekaligus tata kelola sumber daya air. Saluran harus mempertahankan kapasitas pengaliran dan fungsi pembagian air pada periode permintaan tanaman yang berbeda, sedangkan pengelola dan pengguna harus menjaga pengoperasian bangunan dan pemeliharaan. Kerusakan lining, akumulasi sedimen, pertumbuhan vegetasi, dan kerusakan alat pembagi debit dapat menghambat layanan terutama pada petak hilir (Al Hidayat, 2022; Osman et al., 2017; Zakir-Hassan et al., 2023).

Daerah Irigasi Sei Ular melayani sekitar 18.500 ha di Kabupaten Deli Serdang dan Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Kajian ini membatasi analisis pada wilayah Perbaungan seluas sekitar 5.920 ha yang terbagi menjadi tiga zona layanan. Dokumentasi kondisi eksisting menunjukkan sedimentasi, vegetasi, bagian lining yang rusak, serta bangunan bagi yang tidak berfungsi optimal. Karena hambatan tersebut saling berinteraksi, perbaikan penampang semata belum tentu memulihkan ketepatan distribusi air.

Penelitian terdahulu banyak menilai efisiensi lining dan kehilangan air (Abd-Elziz et al., 2022; Selim et al., 2024; Zeleňáková et al., 2025), sedimentasi kanal (Osman et al., 2017; Raspati et al., 2021), atau metode pembobotan rehabilitasi (Agustian et al., 2022; Soetjipto et al., 2023). Literatur pengelolaan partisipatif juga menunjukkan pentingnya organisasi pengguna air dan dukungan kelembagaan (Ricks & Arif, 2012; Gany et al., 2019). Namun, penerapan terpadu antara pemeriksaan ulang kapasitas desain saluran yang spesifik, kondisi gangguan fisik setempat, dan urutan intervensi yang realistis belum ditunjukkan oleh dokumen analisis untuk kasus SC-3 di Sei Ular yang digunakan dalam kajian ini. Kesenjangan praktis tersebut menjadi fokus kajian, bukan klaim pengembangan formula hidraulik baru.

Kekhasan kasus Perbaungan terletak pada jaringan tiga zona dengan jenis saluran tanah dan lining yang beragam, kerusakan pada jalur distribusi, serta kebutuhan evaluasi debit SC-3 yang melayani sebagian besar areal kajian. Pada kondisi demikian, perbedaan kecil antara kapasitas hitung dan kebutuhan rencana penting untuk diperiksa secara numerik. Konsekuensinya, alternatif rehabilitasi perlu menilai tidak hanya dimensi dan kekasaran saluran, tetapi juga kesesuaian elevasi, penyumbatan, bangunan pengatur, dan konsekuensi bagi penerima air di hilir (Putri et al., 2022; Zeleňáková et al., 2025).

Dimensi kelembagaan diperlukan agar rehabilitasi tidak berakhir sebagai intervensi konstruksi satu kali. P3A dapat mendukung pelaporan kerusakan, penyepakatan giliran pembagian air, dan pemeliharaan ringan, sementara pengukuran debit, pengendalian bangunan, serta pekerjaan struktural tetap memerlukan otoritas dan kapasitas teknis petugas. Keterpaduan rekayasa dan tata kelola ini relevan dengan perspektif interdisipliner mengenai keberlanjutan pemanfaatan air dan tanggung jawab pelayanan publik (Wang & Wu, 2018; Rustinsyah & Prasetyo, 2019; Suwanmaneepong et al., 2024).

Dengan demikian, pertanyaan operasional penelitian ditetapkan dalam tiga fokus: identifikasi gangguan fisik yang berpengaruh pada keandalan distribusi, pengujian apakah kapasitas teoretis geometri SC-3 sesuai dengan debit rencana, dan perumusan prioritas rehabilitasi yang memadukan kebutuhan teknis serta pengelolaan partisipatif. Keandalan distribusi dipahami sebagai kemampuan desain dan operasi mendukung pasokan, bukan sebagai besaran peningkatan efisiensi yang telah diukur pascakonstruksi.

Tujuan kajian adalah mengidentifikasi kondisi eksisting saluran sekunder Sei Ular di Perbaungan, menelusuri dan memeriksa kembali hubungan kebutuhan air dengan kapasitas hidraulik SC-3, menyusun skenario dimensi dengan ruang pengaman yang lebih jelas, serta merumuskan urutan rehabilitasi dan indikator verifikasi teknis dan operasional. Kajian dibatasi pada jaringan sekunder yang ada; studi ini tidak merancang jaringan baru maupun membuktikan capaian kinerja pascarehabilitasi.

Method

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-analitis pada jaringan irigasi sekunder di Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Unit kajian adalah jaringan layanan tiga zona, sedangkan SC-3 dijadikan kasus perhitungan karena data geometri usulan, luas layanan 3.387,40 ha, kebutuhan air bersih sawah, dan koefisien efisiensi tersedia dalam dokumen teknis. Pemilihan ini merupakan pemilihan berdasarkan

ketersediaan parameter analitis; tanpa inventarisasi seragam seluruh segmen, SC-3 tidak dapat diklaim sebagai saluran paling rusak.

Data primer yang dinyatakan dalam naskah sumber mencakup observasi kondisi saluran, wawancara petani dan petugas, pengukuran dimensi, dan dokumentasi. Keterangan sumber Fig. 3 mencantumkan PT Nindya Karya (2025), sedangkan cap waktu pada beberapa foto memperlihatkan 29 Mei 2022; tanggal observasi dan jumlah pengukuran atau wawancara belum dapat dipastikan dari bahan yang tersedia. Data sekunder mencakup peta jaringan dan zona, data duga air, klimatologi, serta grafik hujan dasarian Stasiun Sibolangit berlabel September 2023–Februari 2024. Seri hujan ini digunakan untuk mengilustrasikan variasi pasokan musiman, bukan untuk menghitung hujan rencana atau menyimpulkan debit andalan. Tahun label grafik perlu diseragamkan dengan metadata arsip sebelum publikasi.

Tahap analisis terdiri atas inventarisasi gangguan fisik, penelusuran parameter kebutuhan irigasi, verifikasi hitung debit, analisis hidraulik penampang, pengujian sensitivitas nilai kekasaran, serta perumusan urutan penanganan. Karena catatan debit pengukuran dan geometri terbangun SC-3 tidak tersedia dalam naskah sumber, analisis tidak menghitung kapasitas aktual eksisting atau besarnya kenaikan debit nyata. Perbandingan yang sah pada tahap ini ialah kebutuhan rencana terhadap kapasitas geometri acuan dan kapasitas skenario desain yang dihitung dengan asumsi seragam.

Debit rencana dihitung dari $Qd = (Al \times NFR)/(1.000 \times e)$, dengan Al = 3.387,40 ha, NFR = 0,975 L/detik/ha, dan e = 0,72 sehingga Qd = 4,587104 m^3/detik, dibulatkan menjadi 4,587 m^3/detik. NFR dalam kajian ini merupakan masukan kebutuhan air bersih sawah yang tercantum dalam perhitungan awal, bukan nilai yang dihitung ulang dari data evapotranspirasi, hujan efektif, atau koefisien tanaman. Efisiensi 72% juga diperlakukan sebagai asumsi perencanaan yang masih memerlukan pemeriksaan dokumen sumber atau pengukuran kehilangan air. Oleh sebab itu, debit rencana bersifat kondisional terhadap kedua masukan tersebut.

Kapasitas dianalisis untuk penampang trapezium dengan kemiringan sisi m = 1 (1H:1V), lebar dasar b = 5,00 m, kemiringan dasar I = 0,0005, dan koefisien Strickler k = 70 $m^{1/3}$/detik. Pemilihan m, k, dan I mengikuti angka desain yang tertulis dalam dokumen awal dan tidak diinterpretasikan sebagai hasil kalibrasi kekasaran ataupun pengukuran elevasi baru. Rumus yang digunakan adalah: $A = (b + mh)h$; $P = b + 2h\sqrt{(1 + m^2)}$; $R = A/P$; $V = kR^{(2/3)}I^{(1/2)}$; dan $Q = VA$. A adalah luas penampang basah (m^2), P keliling basah (m), R jari-jari hidraulik (m), h kedalaman air (m), V kecepatan (m/detik), dan Q debit (m^3/detik).

Dua geometri dibandingkan pada lebar dasar dan kemiringan yang sama, yakni kedalaman acuan 0,727 m (tinggi jagaan 0,273 m) dan skenario analitis 0,800 m (tinggi jagaan 0,200 m) dari tinggi dinding total 1,00 m. Ruang pengaman kapasitas dinyatakan dengan $[(Q_{kapasitas}/Qd) - 1] \times 100\%$, terpisah dari tinggi jagaan fisik. Pengujian sensitivitas dilakukan pada k = 60, 65, dan 70 untuk kedalaman 0,800 m. Skenario ini bukan keputusan dimensi konstruksi, karena kelayakannya bergantung pada survei elevasi, muka air, stabilitas tebing, kehilangan air, dan standar tinggi jagaan yang berlaku.

Pemeringkatan tindakan dilakukan secara bertahap dan bersifat indikatif. Urutan pertama diberikan kepada hambatan yang menghentikan atau sangat membatasi pengaliran dan pengaturan debit; berikutnya penanganan kerusakan konstruksi dan koreksi geometri setelah survei; sedangkan pemeliharaan serta pencatatan operasi diterapkan lintas tahap. Bila data per segmen tersedia, penetapan urutan lokasi harus memakai tingkat gangguan, luas areal terdampak, posisi terhadap hilir, serta potensi

kehilangan air. Tidak ada skor atau peringkat lokasi yang direkayasa karena data ukuran tersebut belum tercantum dalam dokumen.

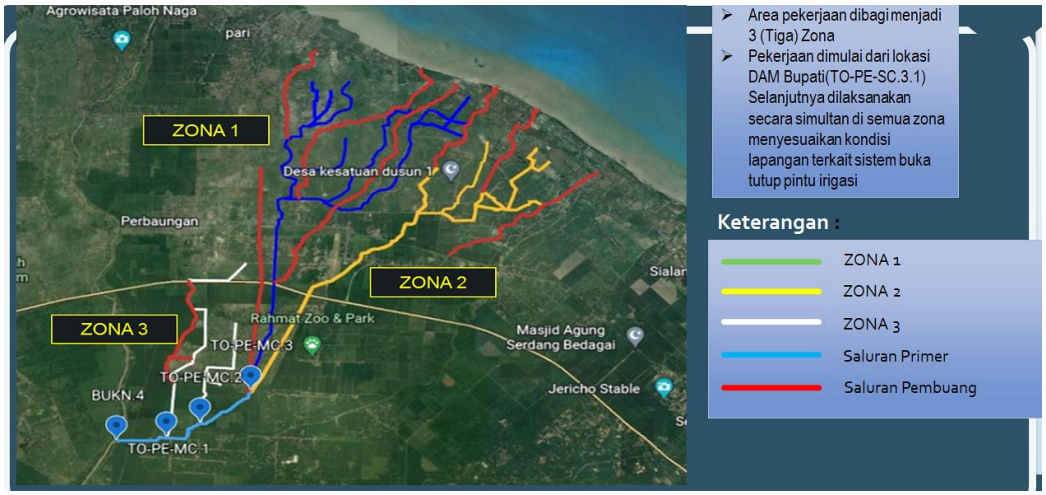


Fig. 1. Lokasi penelitian dan pembagian zona jaringan irigasi
Sumber: Balai Besar Wilayah Sumatra Utara (2025)

Table 1. Data dan fungsi analisis

Jenis data	Sumber	Fungsi analisis
Kondisi saluran dan bangunan	Observasi dan dokumentasi	Identifikasi kerusakan dan hambatan aliran
Dimensi saluran	Pengukuran lapangan/dokumen teknis	Evaluasi geometri penampang
Curah hujan dan klimatologi	Stasiun Klimatologi Sumatera Utara	Evaluasi kondisi hidrologi
Duga air dan debit	Pos duga air/dokumen proyek	Penilaian ketersediaan aliran
Peta dan skema jaringan	Dokumen perencanaan	Penentuan zona dan saluran prioritas

Sumber: Hasil analisis (2026)

Results and Discussion

1. Karakteristik Hujan

Grafik curah hujan dasarian Stasiun Sibolangit dalam naskah sumber berlabel September 2023–Februari 2024, dengan jumlah yang dilaporkan 2.326 mm. Periode dengan curah hujan besar mencakup November II (447 mm) dan Desember III (332 mm), sedangkan Februari I sebesar 0 mm dan Desember II sebesar 7 mm. Besaran tersebut merepresentasikan variasi hujan pada rentang pengamatan yang tersedia, belum merupakan seri klimatologis jangka panjang. Pemakaian hujan dasarian di sini terutama menunjukkan alasan perlunya kontinuitas operasi irigasi ketika pasokan hujan antarperiode berubah.

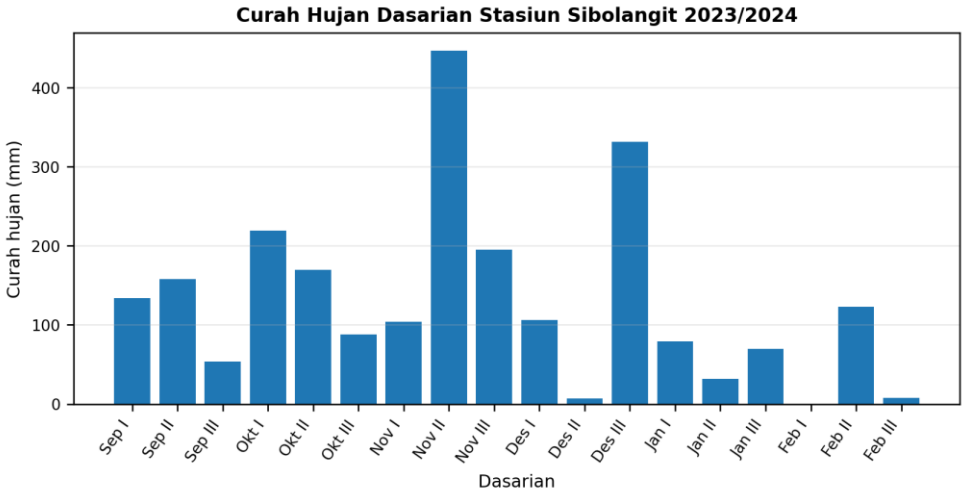


Fig. 2. Curah hujan daerah Sei Ular
Sumber: Stasiun Sibolangit (2025)

Table 2. Ringkasan curah hujan dasarian

Periode	Curah hujan (mm)	Kategori pada data
November II	447	Sangat tinggi
Desember III	332	Sangat tinggi
Oktober I	219	Tinggi
November III	195	Tinggi
Februari I	0	Rendah
Desember II	7	Rendah
Februari III	8	Rendah

Sumber: Stasiun Klimatologi Sumatra Utara (2026)

Hujan dasarian dan kebutuhan debit saluran bukan variabel yang langsung dapat dipertukarkan. Kebutuhan air tanaman memerlukan informasi evapotranspirasi, koefisien tanaman, hujan efektif, perkolasi, dan jadwal tanam; sedangkan debit yang tersedia juga dipengaruhi kondisi bendung serta operasi jaringan. Karena komponen tersebut tidak dihitung ulang dalam kajian ini, angka NFR 0,975 L/detik/ha tetap diperlakukan sebagai masukan rencana, dan grafik hujan hanya menjadi konteks variabilitas suplai. Interpretasi ini mencegah kesimpulan berlebihan bahwa dasarian dengan hujan tinggi otomatis menambah kapasitas alir SC-3 (Basukala et al., 2024).

Implikasi operasionalnya adalah perlunya pencatatan serentak hujan, elevasi muka air, debit masuk, dan debit pada bangunan bagi sehingga evaluasi selanjutnya dapat memisahkan perubahan kebutuhan, keterbatasan suplai, penyumbatan saluran, dan ketidakakuratan pembagian air. Catatan berurutan seperti ini lebih relevan bagi penjadwalan giliran air dan pemeliharaan daripada penggunaan satu seri hujan untuk menetapkan keberhasilan rehabilitasi (Yang et al., 2023).

2. Kondisi Eksisting Jaringan

Jaringan pada wilayah Perbaungan melayani areal sekitar 5.920 ha dan terbagi ke dalam Zona 1, Zona 2, dan Zona 3. Kondisi saluran bervariasi. Sebagian saluran masih berupa saluran tanah, sedangkan bagian lain telah menggunakan lining pracetak. Hasil lapangan menemukan empat masalah utama, yaitu pendangkalan akibat sedimentasi, pertumbuhan vegetasi di dalam dan di tepi saluran, kerusakan lining, serta kerusakan atau penurunan fungsi bangunan bagi.



Fig. 3. Kondisi saluran irigasi pada lokasi penelitian
Sumber: PT Nindya Karya (2025)

Sedimentasi memperkecil kedalaman efektif, sedangkan vegetasi menambah tahanan aliran dan menahan material terapung. Kerusakan lining memicu kebocoran serta erosi lokal, sementara kerusakan bangunan bagi mengurangi ketepatan pembagian debit antarpetak. Keempat masalah tersebut saling memperkuat dan menyebabkan pasokan air ke bagian hilir tidak stabil. Pola ini konsisten dengan studi sedimentasi saluran yang menunjukkan bahwa akumulasi material dapat menurunkan kapasitas dan memerlukan kombinasi operasi, pemeliharaan, serta pengendalian sedimen yang terjadwal (Osman et al., 2017; Raspati et al., 2021). Di sisi lain, studi pada saluran berlining juga menunjukkan bahwa kondisi lining dan karakteristik hidrauliknya berhubungan langsung dengan efisiensi pengaliran dan kehilangan air (Zakir-Hassan et al., 2023; Zeleňáková et al., 2025).

Sedimentasi mengurangi luas basah, vegetasi meningkatkan hambatan aliran, kerusakan lining menimbulkan potensi kebocoran atau erosi, dan kegagalan bangunan bagi melemahkan kendali distribusi. Dalam jaringan bercabang, masalah ini dapat muncul bersamaan sehingga pemeriksaan tunggal pada lebar atau kedalaman saluran belum cukup menjelaskan kinerja layanan. Gangguan yang teramati mendukung kebutuhan audit fisik bersama audit pengaturan debit; besarnya kehilangan air belum diukur langsung dalam naskah sumber (Osman et al., 2017; Zakir-Hassan et al., 2023).

Tahap awal penanganan adalah penghilangan hambatan sedimen atau vegetasi yang menghalangi aliran dan pengecekan kembali penampang setelah dibersihkan. Pemeriksaan berikutnya mencakup sambungan lining, stabilitas tebing, kondisi pintu, serta alat ukur dan ambang bangunan bagi. Apabila penampang tetap tidak memenuhi debit rencana, evaluasi geometri dan elevasi dilakukan sebelum memutuskan pelebaran atau pendalaman. Urutan tindakan demikian mencegah desain perbaikan yang hanya mengatasi satu komponen dan mengabaikan hambatan lain (Raspati et al., 2021; Zeleňáková et al., 2025).

3. Analisis Hidraulik Saluran SC-3

Debit kebutuhan SC-3 sebesar Qd = (3.387,40 × 0,975)/(1.000 × 0,72) = 4,587104 m^3/detik. Dengan b = 5,00 m, m = 1, I = 0,0005, dan k = 70, perhitungan ulang untuk kedalaman acuan h = 0,727 m menghasilkan A = 4,1635 m^2, P = 7,0563 m, R = 0,5900 m, V = 1,1011 m/detik, serta Q = 4,5846 m^3/detik. Selisih sekitar 0,0025 m^3/detik (0,054%) terhadap kebutuhan memang kecil, tetapi angka-angka tersebut tidak tepat dinyatakan identik. Untuk menguji ruang pengaman desain, disusun skenario analitis h = 0,800 m, tanpa mengubah b, m, I, maupun k.

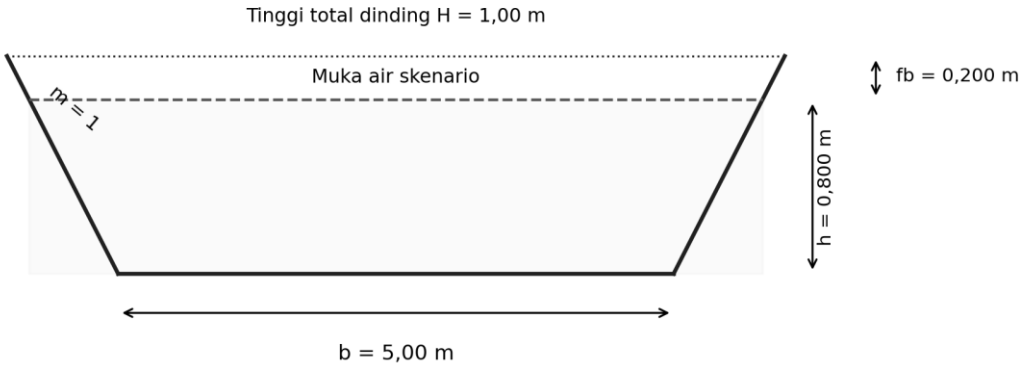


Fig. 4. Ilustrasi penampang alternatif SC-3 pada kedalaman analitis 0,800 m
Sumber: Hasil analisis (2026)

Table 3. Verifikasi kebutuhan debit dan dua skenario hidraulik SC-3

Parameter	Nilai	Satuan
Luas layanan, A_l	3.387,40	ha
Kebutuhan air, NFR	0,975	L/detik/ha
Efisiensi jaringan, e	0,72	-
Debit rencana, Qd	4,587	m^3/detik
Lebar dasar, b	5,00	m
Kedalaman air, h	0,800	m (skenario)
Tinggi jagaan, fb	0,200	m (skenario)
Kemiringan dasar, I	0,000500	-
Koefisien Strickler, k	70,00	$m^{1/3}$/detik
Luas penampang, A	4,640	m^2
Keliling basah, P	7,263	m
Jari-jari hidraulik, R	0,639	m
Kecepatan, V	1,161	m/detik
Debit kapasitas, Q	5,387	m^3/detik
Geometri acuan (h = 0,727 m): Q	4,585	m^3/detik
Margin acuan terhadap Qd	−0,054	%
Margin skenario terhadap Qd	+17,45	%

Sumber: Hitung ulang parameter naskah awal (2026); geometri 0,800 m merupakan skenario analitis, bukan hasil konstruksi.

Hasil verifikasi menunjukkan ketidaksesuaian kecil pada geometri acuan: Q = 4,585 m^3/detik lebih rendah dibandingkan kebutuhan 4,587 m^3/detik jika angka perhitungan belum dibulatkan. Pada geometri skenario h = 0,800 m, luas penampang menjadi 4,640 m^2, keliling basah 7,263 m, jari-jari hidraulik 0,639 m, kecepatan 1,161 m/detik, dan kapasitas 5,387 m^3/detik. Cadangan debit teoretis meningkat menjadi sekitar 17,4%, sedangkan tinggi jagaan geometrik berkurang dari 0,273 m menjadi 0,200 m. Kedua ukuran pengaman tersebut harus dievaluasi secara terpisah sebelum usulan diaplikasikan.

Kenaikan kapasitas dalam skenario bukan bukti bahwa kapasitas eksisting lebih kecil ataupun bahwa distribusi ke sawah pasti meningkat. Data penampang terbangun, kondisi elevasi, koefisien kekasaran aktual, debit ukur masuk dan keluar, serta kehilangan air sepanjang segmen belum tersedia untuk perbandingan lapangan. Dengan demikian, kebutuhan normalisasi, perbaikan lining, dan audit bangunan bagi dapat dibenarkan dari gangguan fisik yang teramati; keputusan pendalaman harus dibuktikan lebih lanjut dengan survei dan pemeriksaan konstruktabilitas (Abd-Elziz et al., 2022; Selim et al., 2024).

Kapasitas juga sensitif terhadap perubahan kekasaran. Pada geometri h = 0,800 m dengan I tetap 0,0005, k = 70 memberikan 5,387 m^3/detik; bila k menurun menjadi 65, kapasitas menjadi sekitar 5,003 m^3/detik (cadangan 9,1%); pada k = 60, kapasitas turun

menjadi 4,618 m^3/detik (cadangan sekitar 0,7%). Nilai k yang lebih rendah adalah skenario uji, bukan hasil pengukuran kondisi setempat. Temuan ini memperlihatkan bahwa cadangan yang terlihat memadai pada kondisi desain dapat berkurang ketika permukaan saluran memburuk atau vegetasi tumbuh.

Secara konstruktif, pendalaman muka air pada tinggi dinding tetap mengurangi ruang bebas. Selain elevasi longitudinal yang harus memungkinkan kemiringan rencana, penampang memerlukan verifikasi daya dukung tebing, kecocokan sambungan lining, kondisi dasar, penempatan bangunan bagi, serta risiko akumulasi sedimen. Tinggi jagaan 0,200 m pada skenario bukan rekomendasi final; kecukupannya harus diperiksa dengan kriteria desain yang berlaku dan fluktuasi muka air di lokasi. Bila tidak layak, alternatif berupa perbaikan geometri lain atau rekayasa bangunan pengatur perlu dibandingkan melalui kajian desain detail (Zakir-Hassan et al., 2023; Zeleňáková et al., 2025).

Pemeriksaan setelah rehabilitasi sebaiknya meliputi survei ulang penampang dan elevasi, pencatatan debit pada kondisi operasi yang setara, penilaian kebocoran atau rembesan, serta pengukuran sedimen berkala. Indikator keberhasilan tidak cukup berupa kapasitas hitung, melainkan juga konsistensi debit di bangunan bagi dan berkurangnya keluhan kekurangan air pada lokasi hilir. Tanpa data pembanding sebelum dan sesudah konstruksi, manfaat aktual tidak dapat dikuantifikasi dalam kajian ini.

4. Alternatif Pengembangan dan Prioritas Rehabilitasi

Rehabilitasi diarahkan kepada pemulihan fungsi jaringan eksisting, bukan pembangunan cabang baru. Prioritas harus mempertimbangkan urgensi sumbatan atau kerusakan pengatur, dampak terhadap pengguna di hilir, jumlah lahan layanan, serta peluang kerusakan berulang. Studi pemeringkatan rehabilitasi mendukung penggunaan kriteria teknis dan manfaat layanan secara terpadu (Agustian et al., 2022; Soetjipto et al., 2023). Namun, karena dokumen yang tersedia belum memuat skor kerusakan dan pengukuran debit untuk tiap segmen, pemeringkatan yang disajikan merupakan urutan tindakan indikatif, bukan peringkat lokasi yang sudah tervalidasi.

Table 4. Masalah, dampak, dan usulan penanganan teknis

Masalah	Dampak utama	Usulan penanganan
Sedimentasi	Penampang basah dan kapasitas menurun	Normalisasi, pengangkutan sedimen, dan jadwal pembersihan berkala
Vegetasi liar	Hambatan aliran meningkat dan saluran tersumbat	Pembersihan mekanis serta pengendalian vegetasi tepi saluran
Lining rusak	Kebocoran, erosi, dan ketidakstabilan tebing	Perbaikan/penggantian lining pada segmen kritis
Bangunan bagi rusak	Pembagian debit tidak terukur dan tidak merata	Rehabilitasi pintu, ambang, dan perangkat ukur
Dimensi tidak cukup	Air tidak mencapai seluruh lahan layanan	Pelebaran atau pendalaman sesuai desain hidraulik
Pemeliharaan lemah	Kerusakan berulang dan respons lambat	Program operasi dan pemeliharaan bersama petugas dan P3A

Sumber: Hasil analisis (2026)

Matriks rehabilitasi memperlihatkan bahwa hambatan langsung terhadap aliran dan pembagian debit memerlukan pemeriksaan awal, sedangkan penguatan geometri ditetapkan setelah penampang bersih dan elevasi terukur. Perbaikan lining dapat menjadi tindakan mendesak apabila kebocoran atau ketidakstabilan tebing terverifikasi berat. Urutan indikatif harus disesuaikan melalui audit segmen agar prioritas pekerjaan tidak hanya didasarkan pada jenis kerusakannya, tetapi juga pada risiko hilir dan luas layanan.

Kelayakan implementasi meliputi akses alat untuk pengangkatan sedimen, penanganan timbunan hasil pengerukan, kontinuitas suplai saat pekerjaan, ketersediaan material lining, perlindungan tebing, dan kecocokan pintu pada elevasi rencana. Pekerjaan saluran aktif membutuhkan pengaturan jadwal dan komunikasi dengan petani agar dampak penghentian sementara suplai tidak dipindahkan ke petak hilir. Alternatif dimensi h = 0,800 m tidak ditetapkan untuk konstruksi sebelum pemeriksaan tinggi jagaan, bangunan perlintasan, dan profil memanjang selesai.

Secara operasional, prioritas pertama diarahkan pada pembebasan penampang dari sumbatan kritis dan pemulihan bangunan bagi yang menghambat pembagian air; prioritas kedua pada perbaikan lining atau perlindungan tebing yang terbukti rusak serta evaluasi dimensi setelah survei; prioritas ketiga pada peningkatan instrumen pemantauan. Program inspeksi, pembersihan ringan, dan pembagian informasi dengan P3A berlaku pada seluruh prioritas. Pengurutan ini bukan hasil penghitungan indeks kinerja resmi dan dapat berubah setelah data lokasi diperoleh (Raspati et al., 2021; Soetjipto et al., 2023).

Keterlibatan P3A ditempatkan pada fungsi pengawasan bersama, komunikasi giliran air, pelaporan hambatan dan pemeliharaan ringan. Otoritas operasional pintu, pengukuran debit teknis, perubahan desain, dan pekerjaan struktural tetap menjadi tanggung jawab pengelola yang berwenang. Pembagian peran ini penting untuk menghindari penyamaan kerja sukarela petani dengan kewajiban rekayasa keselamatan bangunan. Studi kelembagaan irigasi menunjukkan bahwa partisipasi efektif memerlukan akses data, mekanisme koordinasi, dan dukungan operator (Gany et al., 2019; Rustinsyah & Prasetyo, 2019; Suwanmaneepong et al., 2024).

Pemantauan awal dapat dilakukan dengan pembacaan papan duga pada bangunan bagi, pencatatan debit pada kondisi operasi yang diketahui, dan dokumentasi berkala sedimen serta kondisi lining. Data dimasukkan ke rekap sederhana untuk menelusuri perubahan debit dan keluhan layanan antarzona; otomatisasi baru dapat dipilih setelah pencatatan manual stabil, biaya pemeliharaan tersedia, dan petugas terlatih. Prinsip ini menghubungkan rehabilitasi teknis dengan transparansi dan pemerataan pelayanan tanpa mengklaim bahwa keluaran sosial sudah terukur dalam studi ini (Yang et al., 2023; Wang & Wu, 2018).

Sebagai implikasi interdisipliner, keputusan teknik perlu menilai siapa yang terdampak ketika aliran terganggu, bagaimana informasi debit dibagikan, dan siapa yang mengawasi pemeliharaan. Akuntabilitas data, partisipasi pengguna, serta upaya mengurangi kerugian lahan hilir adalah prinsip tata kelola yang relevan bagi keberlanjutan layanan. Studi ini mengusulkan kerangka kerja tersebut sebagai rekomendasi, bukan sebagai temuan evaluasi perilaku P3A ataupun pengujian norma keagamaan.

Table 5. Urutan prioritas tindakan berdasarkan gangguan teridentifikasi

Urutan	Tindakan indikatif	Dasar dan prasyarat pengambilan keputusan
I (mendesak)	Bersihkan sedimen/vegetasi yang menghalangi aliran; periksa pintu dan bangunan bagi	Gangguan fungsi langsung; lokasi ditetapkan setelah audit hambatan dan dampak hilir
II (terencana)	Perbaiki lining/tebing kritis; verifikasi penampang dan kelayakan koreksi dimensi	Dasarkan pada uji kebocoran, elevasi, tinggi jagaan, keselamatan, dan izin pekerjaan
III (penguatan)	Tambahkan pencatatan muka air/debit; pertimbangkan alat ukur/otomasi terpilih	Setelah prosedur operasi dan kemampuan petugas teruji
Lintas tahap	Inspeksi, pemeliharaan rutin, pelaporan dan koordinasi P3A	Dilaksanakan berkelanjutan sesuai kewenangan pengelola dan petani

Sumber: Klasifikasi analitis berdasarkan jenis gangguan dalam dokumen; bukan ranking lokasi hasil survei (2026).

5. Keterbatasan Kajian

Kajian ini dibatasi oleh ketidaklengkapan data dasar untuk menguji kinerja jaringan secara empiris. Tanggal rinci survei dan jumlah informan, geometri serta elevasi eksisting SC-3, seri debit ukur dan kehilangan air, dasar penetapan NFR serta efisiensi 72%, dan data

skor kerusakan per segmen tidak disajikan dalam bahan sumber. Tanggal dokumentasi foto (cap waktu 2022, atribusi 2025) serta seri hujan pada grafik juga memerlukan verifikasi sumber dan periode. Karena itu, model hidraulik menggunakan asumsi awal dan skenario sensitivitas, bukan hasil kalibrasi. Kajian belum mencakup simulasi aliran tidak tunak, biaya investasi, kendala lahan dan bangunan, verifikasi tinggi jagaan normatif, maupun penilaian manfaat pascakonstruksi.

Penelitian lanjutan perlu mencatat tanggal survei dan sumber angka perencanaan, mengukur geometri serta profil elevasi SC-3, membandingkan debit aktual di hulu-hilir pada beberapa kondisi operasi, menilai kehilangan air dan sedimen, serta memeriksa kelayakan masing-masing alternatif kedalaman atau pelebaran beserta biaya. Survei kelembagaan P3A juga dibutuhkan bila kontribusi tata kelola hendak dinilai sebagai temuan empiris. Dengan batasan tersebut, kontribusi naskah terutama berupa audit perhitungan awal dan kerangka integrasi desain-operasi yang dapat diuji lebih lanjut.

Conclusion

Analisis jaringan sekunder Sei Ular di Perbaungan menemukan gangguan yang saling terkait berupa sedimentasi, vegetasi, lining rusak, dan penurunan fungsi bangunan bagi. Perhitungan ulang kebutuhan SC-3 dari luas 3.387,40 ha, NFR 0,975 L/detik/ha, dan efisiensi asumtif 72% memberikan debit rencana 4,587 m^3/detik. Kapasitas geometrik acuan h = 0,727 m sebesar 4,585 m^3/detik menunjukkan defisit teoritis kecil, sedangkan skenario pendalaman menjadi h = 0,800 m menghasilkan 5,387 m^3/detik dan margin 17,4% ketika k = 70 dan I = 0,0005. Skenario ini belum cukup untuk menjadi desain pelaksanaan sebab cadangan mengecil pada kekasaran lebih tinggi, sementara tinggi jagaan menjadi 0,200 m dan memerlukan pemeriksaan standar serta kondisi lapangan.

Rehabilitasi yang disarankan diawali dengan pemulihan aliran serta bangunan bagi kritis, dilanjutkan pemeriksaan lining, elevasi, dan dimensi secara terukur, kemudian penguatan pemantauan dan pembagian peran dengan P3A. Integrasi kapasitas, operasi, dan partisipasi merupakan kontribusi analitis kajian terhadap keandalan distribusi, bukan klaim peningkatan debit atau pemerataan yang sudah terbukti. Penetapan konstruksi dan urutan lokasi membutuhkan survei geometri dan debit aktual, verifikasi parameter kebutuhan air, serta penilaian teknis-ekonomi sebelum pekerjaan dilaksanakan.

References

Abd-Elaty, I., Pugliese, L., Bali, K. M., Grismer, M. E., & Eltarabily, M. G. (2022). Modelling the impact of lining and covering irrigation canals on underlying groundwater stores in the Nile Delta, Egypt. Hydrological Processes, 36(1), e14466. https://doi.org/10.1002/hyp.14466

Abd-Elziz, S., Zeleňáková, M., Kršák, B., & Abd-Elhamid, H. F. (2022). Spatial and temporal effects of irrigation canals rehabilitation on the land and crop yields, a case study: The Nile Delta, Egypt. Water, 14(5), 808. https://doi.org/10.3390/w14050808

Agustian, R. D., Hidayah, E., & Widiarti, W. Y. (2022). Analisis prioritas rehabilitasi jaringan irigasi menggunakan metode Simple Additive Weighting di aliran Sungai Jompo. Jurnal Teknik Pengairan, 13(2), 159–171. https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.03

Al Hidayat, R. (2022). Evaluasi pembangunan infrastruktur jaringan irigasi di Kabupaten Bengkulu Tengah. EKOMBIS Review: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis, 10(1), 334–347.

Al-Hafizh, A., Mardianta, A. V., & Hasibuan, G. C. R. (2026). Prioritas rehabilitasi daerah irigasi yang mendukung program ketahanan pangan di wilayah Sumatera Utara. Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia, 11(6). https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v11i6.64793

Assyabill, B. G., Maulana, R., Mulyono, H., & Winasis, A. (2025). Performance index analysis of irrigation areas using E-PAKSI software for sustainable maintenance in West Java Region. Indonesian Journal of Advanced Research, 4(8), 1857–1876. https://doi.org/10.55927/ijar.v4i8.15158

Basukala, A. K., Eschenbach, A., & Rasche, L. (2024). Effect of irrigation canal conveyance efficiency enhancement on crop productivity under climate change in Nepal. Environmental Monitoring and Assessment, 196, 1282. https://doi.org/10.1007/s10661-024-13405-4

Febriani, O. M., & Putra, A. S. (2022). Jaringan Irigasi Desa (JIDES) berbasis IoT di Provinsi Lampung. TEKNIKA: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Rekayasa, 16(1), 125–132.

Gany, A. H. A., Sharma, P., & Singh, S. (2019). Global review of institutional reforms in the irrigation sector for sustainable agricultural water management, including water users' associations. Irrigation and Drainage, 68(1), 84–97. https://doi.org/10.1002/ird.2305

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri PUPR Nomor 12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi.

Oktiawan, Y. (2023). Irrigation network performance index analysis: Case study of Bandar Sapan Kayu Manang Irrigation Area, Solok Regency. Indonesia Journal of Engineering and Education Technology, 1(4), 33–38. https://doi.org/10.61991/ijeet.v1i4.7

Osman, I. S., Schultz, B., Osman, A., & Suryadi, F. X. (2017). Effects of different operation scenarios on sedimentation in irrigation canals of the Gezira Scheme, Sudan. Irrigation and Drainage, 66(1), 82–89. https://doi.org/10.1002/ird.2023

Putri, P. I. D., Suputra, P. A., & Nuraga, I. K. (2022). Study of irrigation performance index in Saba irrigation area. Journal of Infrastructure Planning and Engineering, 1(1), 15–26. https://doi.org/10.22225/jipe.1.1.2022.15-26

Raspati, A. D., Bakar, B. A., & Kusdian, R. D. (2021). Pengaruh akumulasi sedimen pada saluran irigasi terhadap prioritas rehabilitasi konstruksi (Studi kasus D.I. Leuwi Kuya Kabupaten Bandung dan Bandung Barat). Techno-Socio Ekonomika, 14(1). https://doi.org/10.32897/techno.2021.14.1.575

Ricks, J. I., & Arif, S. S. (2012). Local success in encouraging participatory irrigation management: Policy lessons from Indonesia. Journal of International Development, 24(7), 946–949. https://doi.org/10.1002/jid.2859

Rustinsyah, R., & Prasetyo, R. A. (2019). Stakeholder engagement in a water user association for agricultural irrigation management in the villages in Indonesia. Journal of Water and Land Development, 40(1), 181–191. https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0020

Salmasi, F., & Abraham, J. (2020). Predicting seepage from unlined earthen channels using the finite element method and multivariable nonlinear regression. Agricultural Water Management, 234, 106148. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106148

Selim, T., Elshaarawy, M. K., Elkiki, M., & Eltarabily, M. G. (2024). Estimating seepage losses from lined irrigation canals using nonlinear regression and artificial neural network models. Applied Water Science, 14, 90. https://doi.org/10.1007/s13201-024-02142-1

Soetjipto, J. W., Hidayah, E., Dewi, A. L., Widiarti, W. Y., & Juliastuti. (2023). An approach for irrigation network rehabilitation priority based on hybrid AHP-TOPSIS, WASPAS, MOORA. International Journal of GEOMATE, 25(110), 49–58. https://doi.org/10.21660/2023.110.3943

Sulaeni, S., Sumantri, A. T., Wibowo, A. S., & Anugrah, M. D. (2023). Analisis partisipasi anggota Perkumpulan Petani Pemakai Air dalam kegiatan operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi. Jurnal Penyuluhan dan Pemberdayaan Masyarakat, 2(3), 69–75.

Suwanmaneepong, S., Llones, C., & Mankeb, P. (2024). Participatory irrigation management, social capital, and efficiency in rice production: Understanding the linkage in the case of irrigated rice farms in Northern Thailand. Heliyon, 10(11), e32301. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32301

Wang, Y., & Wu, J. (2018). An empirical examination on the role of water user associations for irrigation management in rural China. Water Resources Research, 54(12), 9791–9811. https://doi.org/10.1029/2017WR021837

Yang, Z., Wang, Z., Liu, J., Zhang, T., & Zheng, Z. (2023). Canal controllability identification based on automation theory to improve water delivery efficiency in irrigation canal systems.

Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 149(8). https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001742

Zakir-Hassan, G., Kahlown, M. A., Punthakey, J. F., Shabir, G., Aziz, M., Sultan, M., Ashraf, H., Nawaz, Q. U. A., & Majeed, F. (2023). Evaluation of hydraulic efficiency of lined irrigation channels: A case study from Punjab, Pakistan. Hydrology Research, 54(4), 523–546. https://doi.org/10.2166/nh.2023.105

Zeleňáková, M., Arifjanov, A., Abd-Elhamid, H. F., Bindzárová Gergeľová, M., Fatxulloyev, A., & Allayorov, D. (2025). The effect of lining hydraulic properties on the efficiency and cost of irrigation canal reconstruction. Water Resources Management, 39, 5601–5617. https://doi.org/10.1007/s11269-025-04218-2