

## ANALISIS HIDROLIKA SALURAN BERKELOK PADA SISTEM IRIGASI PERMUKAAN D.I. HARITI UNTUK EVALUASI EFISIENSI PENGALIRAN AIR

Arifin\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Achmad Yani Banjarmasin

\*[arifin.mt@uvayabjm.ac.id](mailto:arifin.mt@uvayabjm.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh potensi inefisiensi pengaliran air pada sistem irigasi permukaan di Daerah Irigasi (D.I.) Hariti akibat adanya saluran yang berkelok. Kondisi ini dapat menimbulkan kehilangan energi, turbulensi, dan sedimentasi yang mengganggu distribusi air ke lahan pertanian. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menganalisis secara mendalam karakteristik hidrolika pada segmen saluran berkelok guna mengevaluasi efisiensi pengaliran air. Sebagai langkah penting, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif yang meliputi survei lapangan, pengukuran geometri saluran, dan pengukuran debit aktual menggunakan metode apung. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan rumus Manning untuk membandingkan performa hidrolika antara segmen lurus dan berkelok. Temuan utama menunjukkan bahwa geometri kelokan yang tajam secara signifikan menurunkan efisiensi pengaliran. Pada titik kelokan tajam, efisiensi aliran turun drastis menjadi hanya 66,5%, jauh lebih rendah dibandingkan segmen saluran lurus. Kesimpulannya, bentuk kelokan yang tidak optimal menjadi penyebab utama inefisiensi sistem irigasi. Direkomendasikan perbaikan teknis seperti memperbesar radius tikungan, pelapisan dinding saluran, dan pemeliharaan rutin untuk meningkatkan performa hidrolika dan menjamin distribusi air yang merata.

**Kata Kunci:** *Hidrolika saluran berkelok, Efisiensi irigasi, Sistem irigasi permukaan Kehilangan energi, Simulasi aliran terbuka.*

### ABSTRACT

This research is motivated by the potential for inefficient water flow in the surface irrigation system in the Hariti Irrigation Area (DI) due to the presence of meandering channels. This condition can cause energy loss, turbulence, and sedimentation, which disrupt water distribution to agricultural land. Therefore, this study focuses on an in-depth analysis of the hydraulic characteristics of meandering channel segments to evaluate water flow efficiency. As a crucial step, this study uses a quantitative-descriptive approach that includes field surveys, channel geometry measurements, and actual discharge measurements using the float method. The obtained data are then analyzed using the Manning formula to compare the hydraulic performance between straight and meandering segments. The main findings indicate that sharp bend geometry significantly reduces flow efficiency. At the point of the sharp bend, flow efficiency drops drastically to only 66.5%, much lower than in straight channel segments. In conclusion, suboptimal bend shape is the main cause of irrigation system inefficiency. Technical improvements such as increasing the bend radius, lining the canal walls, and routine maintenance are recommended to improve hydraulic performance and ensure even water distribution.

**Keywords:** *Meandering canal hydraulics, Irrigation efficiency, Surface irrigation system energy loss, Open flow simulation.*

## PENDAHULUAN

Infrastruktur irigasi merupakan urat nadi bagi sektor pertanian dan pilar fundamental dalam menjamin ketahanan pangan nasional. Jaringan irigasi yang dirancang dan dikelola dengan baik berfungsi sebagai sistem pendukung kehidupan yang mampu mengubah lahan kering atau tadah hujan menjadi kawasan agrikultur yang produktif dan berkelanjutan. Di negara agraris seperti Indonesia, di mana padi menjadi komoditas pangan pokok dan mata pencaharian bagi jutaan petani, keandalan dan efisiensi sistem irigasi memiliki signifikansi strategis yang sangat tinggi. Sistem irigasi yang berfungsi optimal tidak hanya menjamin stabilitas hasil panen dari musim ke musim, tetapi juga menjadi motor penggerak perekonomian pedesaan, menstabilkan harga pangan di tingkat konsumen, dan membangun resiliensi bangsa dalam menghadapi tantangan variabilitas iklim serta peningkatan kebutuhan pangan di masa depan (Azahra et al., 2025; Susanti et al., 2024). Oleh karena itu, pemeliharaan dan peningkatan kinerja jaringan irigasi adalah sebuah investasi krusial yang berdampak langsung pada kesejahteraan masyarakat dan stabilitas nasional.

Dalam rekayasa hidrolika, sistem irigasi saluran terbuka berbasis gravitasi dianggap sebagai model yang efisien dan berkelanjutan. Dalam kondisi idealnya, sistem ini bekerja dengan memanfaatkan energi potensial air secara maksimal, mengalirkan air dari bendung atau sumber utama ke setiap petak lahan pertanian dengan presisi dan keandalan yang tinggi. Saluran-saluran dirancang dengan gradien dan geometri yang diperhitungkan secara cermat untuk mempertahankan kecepatan aliran yang optimal, sehingga mampu meminimalkan kehilangan air akibat perembesan dan penguapan. Infrastruktur fisiknya kokoh, terawat dengan baik, dan bebas dari segala bentuk hambatan seperti sedimentasi yang berlebihan, pertumbuhan vegetasi liar, maupun kerusakan struktural pada dinding saluran. Yang terpenting, dalam sistem yang ideal, distribusi air dikelola secara adil dan merata, memastikan bahwa para petani yang berada di bagian hilir jaringan menerima pasokan air yang sama andalnya dengan mereka yang berada di dekat sumber. Sistem ini berfungsi layaknya sebuah sistem sirkulasi yang sempurna, menyalurkan nutrisi vital ke seluruh lanskap pertanian untuk memaksimalkan potensi produktivitasnya (Suryana & Adi, 2024; Syahrir et al., 2024).

Konteks spesifik dari penelitian ini berlokasi di *Daerah Irigasi* (D.I.) Hariti, yang terletak di Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Hulu Sungai Selatan. Kawasan ini merupakan salah satu sentra pertanian penting di wilayah tersebut, dengan luas sawah potensial yang dilayani mencapai 49,87 hektar, dan didominasi oleh komoditas padi. Kehidupan dan kesejahteraan masyarakat petani di wilayah ini sangat bergantung pada kinerja jaringan irigasi D.I. Hariti, yang memanfaatkan sistem saluran terbuka berbasis gravitasi untuk mendistribusikan air dari sebuah bendung. Keberhasilan panen mereka, terutama pada musim tanam pertama yang menuntut pasokan air dalam volume besar dan stabil, secara langsung ditentukan oleh kemampuan sistem ini dalam mengalirkan air secara efisien. Dengan demikian, setiap gangguan atau inefisiensi yang terjadi pada jaringan D.I. Hariti bukan hanya menjadi masalah teknis, tetapi juga berpotensi menjadi masalah sosial-ekonomi yang signifikan bagi komunitas petani setempat, menjadikan kinerja hidrolikanya sebagai isu yang sangat vital (Azahra et al., 2025; Nasrullah et al., 2025).

Namun, realitas di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan antara kondisi ideal sebuah sistem irigasi dengan kondisi faktual di D.I. Hariti. Permasalahan utama yang teridentifikasi terletak pada geometri atau bentuk fisik saluran irigasi itu sendiri. Akibat kondisi kontur alam yang tidak rata serta adanya pembatasan lahan, trase saluran tidak dapat dibuat lurus dan seragam, melainkan berkelok-kelok atau menikung di banyak segmen. Bentuk saluran yang tidak ideal ini secara langsung menimbulkan berbagai persoalan teknis hidrolika yang kompleks. Aliran air yang seharusnya seragam menjadi terganggu, menyebabkan

terjadinya turbulensi dan arus sekunder yang mengubah profil kecepatan dan kedalaman aliran secara drastis dibandingkan dengan aliran pada saluran lurus. Ketidaktepatan geometris inilah yang menjadi akar penyebab dari serangkaian masalah turunan yang pada akhirnya mengganggu kinerja dan efisiensi sistem irigasi secara keseluruhan, menciptakan sebuah jurang antara potensi layanan dengan performa aktualnya (Rarasati et al., 2022; Siregar & Halking, 2025).

Dampak dari bentuk saluran yang berkelok ini sangat nyata dan merugikan. Pola aliran yang terganggu tersebut menciptakan efek destruktif ganda pada fisik saluran. Di sisi dalam tikungan, di mana kecepatan aliran melambat, terjadi pengendapan material sedimen yang terbawa oleh air. Seiring waktu, endapan ini akan terus terakumulasi, menyebabkan pendangkalan dan mengurangi kapasitas tampung saluran secara signifikan. Sebaliknya, di sisi luar tikungan, di mana kecepatan aliran meningkat, energi air yang lebih besar menimbulkan gaya gerus atau erosi yang mengikis dinding saluran. Erosi yang terus-menerus ini tidak hanya memperlebar saluran secara tidak terkendali, tetapi juga dapat mengancam stabilitas dan integritas struktur saluran itu sendiri. Kombinasi dari dua masalah ini—sedimentasi dan erosi—pada akhirnya bermuara pada konsekuensi yang paling fatal, yaitu menurunnya efisiensi pengaliran dan terhambatnya distribusi air ke area hilir, menciptakan ketidakadilan pasokan air (Lenhart et al., 2011; Rossaty et al., 2023; Singh et al., 2021).

Fenomena yang terjadi di D.I. Hariti ini bukanlah sebuah kasus yang terisolasi. Situasi serupa juga ditemukan pada evaluasi hidrolika yang pernah dilakukan di *Daerah Irigasi Tombu*, Sumba Barat. Kajian di lokasi tersebut mengungkap sebuah sistem yang berada dalam kondisi kritis, di mana efisiensi saluran sekundernya terukur hanya mencapai 89,205%, sebuah angka di bawah ambang batas standar, sementara efektivitas sistem secara keseluruhan anjlok hingga tingkat yang sangat rendah, yaitu 47,368%. Akar penyebab dari rendahnya performa tersebut diidentifikasi sebagai kombinasi dari kondisi fisik saluran yang kurang optimal, termasuk adanya kerusakan struktur dan gangguan dari vegetasi liar yang tumbuh tak terkendali. Kasus di D.I. Tombu ini menjadi sebuah referensi pembandingan yang kuat, yang menggarisbawahi betapa pentingnya menjaga kondisi fisik dan geometri saluran. Hal ini semakin mempertegas urgensi dilakukannya sebuah kajian hidrolika yang komprehensif di D.I. Hariti untuk mengkuantifikasi tingkat inefisiensi yang terjadi akibat bentuk salurannya yang berkelok.

Nilai kebaruan dan inovasi utama dari penelitian ini terletak pada pendekatannya yang sangat terfokus dan mendalam terhadap permasalahan yang ada. Jika evaluasi irigasi secara umum seringkali hanya berfokus pada analisis efisiensi secara makro, maka penelitian ini secara inovatif akan melakukan sebuah kajian hidrolika yang spesifik terhadap karakteristik aliran di bagian-bagian saluran yang berkelok. Kebaruannya terletak pada upaya untuk memodelkan dan menganalisis secara detail bagaimana parameter geometri kelokan—seperti radius dan sudut tikungan—secara langsung memengaruhi parameter hidrolika aliran, termasuk distribusi kecepatan, tinggi muka air, dan pola transpor sedimen. Dengan memusatkan analisis pada segmen-segmen kritis ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi secara presisi sejauh mana bentuk saluran tersebut menjadi biang keladi dari inefisiensi pengaliran. Analisis yang bersifat diagnostik dan terperinci inilah yang akan menjadi landasan ilmiah untuk merumuskan solusi teknis yang paling tepat guna dan efektif (Hanafi et al., 2025).

Berdasarkan latar belakang masalah mengenai peran vital D.I. Hariti, adanya kesenjangan kinerja akibat bentuk salurannya yang berkelok, serta kebutuhan akan adanya analisis yang mendalam untuk merumuskan solusi, maka penelitian ini dirumuskan dengan tujuan yang jelas. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melakukan suatu kajian

hidrolika yang komprehensif terhadap karakteristik aliran di bagian saluran berkelok guna mengetahui sejauh mana bentuk geometri tersebut mempengaruhi efisiensi pengaliran. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang sangat praktis dan dapat ditindaklanjuti. Temuan dari analisis ini akan menjadi dasar untuk menentukan solusi-solusi teknis perbaikan yang paling efektif, yang dapat mencakup perancangan ulang (*redesign*) segmen-segmen saluran yang paling kritis, pemasangan bangunan pengatur aliran pada titik-titik kelokan strategis, serta implementasi program pemeliharaan rutin yang lebih terfokus untuk mengendalikan sedimentasi dan vegetasi pengganggu.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif yang berfokus pada evaluasi teknis dan hidrolika saluran irigasi. Lokasi penelitian ditetapkan di Daerah Irigasi (D.I.) Hariti, yang secara administratif berada di Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan. Fokus utama studi ini adalah pada segmen-segmen saluran utama dan sekunder yang memiliki geometri berkelok secara signifikan, yang diidentifikasi melalui survei pendahuluan karena adanya indikasi perlambatan aliran, potensi kehilangan air, dan penumpukan sedimen. Pelaksanaan pengumpulan data lapangan dijadwalkan selama bulan Februari 2025, periode yang dipilih secara strategis karena bertepatan dengan puncak musim tanam padi, di mana kebutuhan air irigasi berada pada level maksimal. Pengambilan data pada kondisi operasional puncak ini bertujuan untuk memastikan bahwa analisis efisiensi pengaliran air dapat merefleksikan tantangan dan kinerja aktual sistem irigasi. Untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif, penelitian ini memanfaatkan dua jenis data, yaitu data primer yang dikumpulkan langsung dari lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait, seperti peta jaringan irigasi dari Dinas PUPR dan data kebutuhan air tanaman dari Dinas Pertanian.

Prosedur pengumpulan data primer di lapangan dilaksanakan melalui serangkaian kegiatan survei teknis yang mencakup observasi dan pengukuran langsung. Kegiatan ini diawali dengan identifikasi dan pemetaan titik-titik kelokan yang akan menjadi objek studi. Selanjutnya, dilakukan pengukuran detail terhadap geometri saluran menggunakan instrumen seperti pita ukur, penggaris, dan GPS genggam untuk mencatat dimensi fisik (lebar dasar, kedalaman, tinggi tanggul) serta karakteristik kelokan (radius dan sudut tikungan). Kemiringan dasar saluran, sebagai parameter hidrolika yang krusial, diukur secara akurat menggunakan *waterpass* digital atau *total station*. Selain pengukuran geometrik, dilakukan pula pengukuran debit aliran aktual di titik hulu dan hilir setiap kelokan. Pengukuran debit ini utamanya menggunakan metode pelampung (*floating method*), di mana kecepatan aliran dihitung berdasarkan waktu tempuh pelampung pada jarak tertentu, yang kemudian dikalikan dengan luas penampang basah untuk mendapatkan nilai debit. Pada titik-titik strategis, metode *area-velocity* juga diterapkan untuk meningkatkan akurasi data. Seluruh proses ini didukung oleh observasi visual untuk mendokumentasikan kondisi fisik saluran, termasuk adanya sedimentasi, erosi, atau kerusakan struktur.

Analisis data dilakukan secara sistematis dan bertahap untuk mengevaluasi karakteristik hidrolika dan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab inefisiensi pada saluran berkelok. Tahap pertama adalah perhitungan parameter hidrolika teoretis untuk setiap segmen kelokan menggunakan rumus Manning, yang dibantu oleh perangkat lunak Microsoft Excel. Parameter yang dihitung meliputi debit teoretis, kecepatan aliran, jari-jari hidraulik, dan parameter terkait lainnya. Tahap selanjutnya adalah evaluasi efisiensi pengaliran, yang dilakukan dengan membandingkan debit aktual yang terukur di lapangan dengan debit teoretis, serta menganalisis perbedaan signifikan antara debit masuk dan keluar di sepanjang segmen kelokan. Analisis juga



mencakup distribusi aliran berdasarkan pengamatan visual dan pengukuran kecepatan untuk mengidentifikasi pola sedimentasi dan erosi. Berdasarkan sintesis dari data geometri, hasil perhitungan hidrolika, dan kondisi fisik lapangan, diidentifikasi penyebab utama penurunan efisiensi. Hasil akhir dari analisis ini adalah perumusan rekomendasi teknis yang konkret, seperti modifikasi geometri kelokan, pelapisan dinding saluran, atau pemasangan struktur pengarah aliran untuk meningkatkan performa sistem irigasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

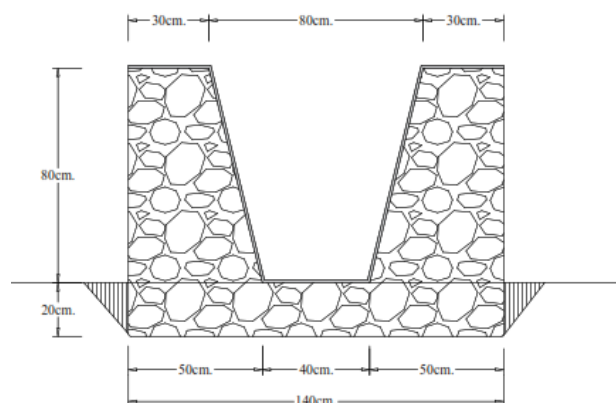
### Hasil

#### Kondisi Fisik Saluran D.I. Hariti



**Gambar 1. Kondisi Fisik Saluran D.I. Hariti**

Gambar 1 merupakan permukaan saluran pada umumnya terbuat dari tanah lempung berpasir, yang secara alami memiliki kekuatan struktural cukup baik namun rentan terhadap erosi terutama pada aliran berkelok. Beberapa segmen saluran telah dilapisi dengan material keras seperti pasangan batu kali atau beton pracetak, namun pelapisan ini belum dilakukan secara menyeluruh sehingga terdapat perbedaan karakteristik hidrolika antar segmen. Di bagian hulu, pelapisan beton lebih sering dijumpai, sementara di segmen hilir dan saluran sekunder, sebagian besar masih berupa saluran tanah. Secara umum, jaringan saluran di D.I. Hariti memiliki sejumlah besar kelokan tajam yang mengikuti kontur lahan. Berdasarkan hasil pemetaan sketsa lapangan, ditemukan setidaknya 6 kelokan dengan sudut belokan lebih dari  $45^\circ$ , dan dua di antaranya memiliki sudut mendekati  $90^\circ$ . Radius kelokan pendek ( $<2$  m) menyebabkan perubahan arah aliran yang tajam, berkontribusi terhadap peningkatan turbulensi, sedimentasi, dan kehilangan energi. Kerusakan struktural pada saluran juga ditemukan, seperti retakan, pelapisan yang mengelupas, dan dinding saluran yang amblas akibat gaya lateral aliran. Pengamatan ini menjadi indikasi bahwa saluran di D.I. Hariti membutuhkan rehabilitasi fisik untuk meningkatkan efisiensi distribusi air.



**Gambar 2. Penampang Melintang Saluran Sekunder D.I. Hariti**

Gambar 2 merupakan survei lapangan yang dilakukan secara sistematis di Daerah Irigasi Hariti mengungkapkan bahwa jaringan saluran irigasi terdiri dari saluran utama dan saluran sekunder, dengan mayoritas profil penampang berbentuk trapezoidal. Pengukuran aktual pada beberapa segmen saluran menunjukkan bahwa saluran memiliki lebar dasar sekitar 40 cm, sisi miring sepanjang 30 cm di setiap sisi, serta kedalaman total mencapai 80 cm. Variasi dimensi ini menunjukkan adaptasi terhadap kondisi lapangan, fungsi saluran, dan potensi distribusi air. Pada saat pengamatan, kedalaman muka air berada dalam rentang 0,4 m hingga 0,6 m, dipengaruhi oleh kondisi elevasi topografi, waktu pengambilan data, serta posisi bukaan pintu air. Fluktuasi ini menunjukkan dinamika operasional yang perlu diperhatikan dalam kajian efisiensi distribusi dan kehilangan energi pada saluran berkelok.

### Perhitungan Hidrolika Teroritis

Perhitungan debit teoritis dilakukan menggunakan rumus Manning, dengan mempertimbangkan parameter seperti luas penampang (A), jari-jari hidraulik (R), kemiringan saluran (S), dan koefisien kekasaran (n). dibawah ini adalah hasil perhitungan menggunakan rumus Manning pada titik kelokan A, B, dan C. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Perhitungan hidrolika titik kelokan saluran irigasi sekunder D.I. Hariti**

Titik	Lebar Dasar (m)	Kedalaman Air (m)	Kemiringan (S)	Koefisien Kekasaran (n)	Penampang (A) (m <sup>2</sup> )	Jari Hidraulik (R) (m)	Kecepatan Aliran (v) (m/s)	Debit Teoritis (m <sup>3</sup> /s)
Titik A (Lurus)	0,4	0,6	0,002	0,035	0,6	0,286	0,559	0,335
Titik B (Kelokan Sedang)	0,4	0,5	0,0018	0,035	0,45	0,248	0,474	0,213
Titik C (Kelokan Tajam)	0,4	0,55	0,0015	0,035	0,5225	0,267	0,458	0,239

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Berdasarkan Tabel 1, analisis hidrolika pada saluran irigasi sekunder D.I. Hariti menunjukkan adanya perubahan karakteristik aliran di tiga titik pengamatan yang berbeda. Pada Titik A (Lurus), saluran memiliki kecepatan aliran (v) tertinggi sebesar 0,559 m/s dan debit teoritis (Q) terbesar 0,335 m<sup>3</sup>/s, yang didukung oleh kemiringan (S) paling curam yaitu 0,002. Sebaliknya, pada Titik B (Kelokan Sedang) dan Titik C (Kelokan Tajam), terjadi penurunan kecepatan aliran dan debit. Titik B mencatat kecepatan 0,474 m/s dengan debit 0,213 m<sup>3</sup>/s, sementara Titik C memiliki kecepatan terendah 0,458 m/s meskipun dengan debit sedikit lebih tinggi dari Titik B, yaitu 0,239 m<sup>3</sup>/s. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa geometri kelokan, terutama perubahan kemiringan dan kedalaman air, secara signifikan memengaruhi parameter hidrolika, yang mengakibatkan perlambatan aliran di bagian saluran yang berkelok.

### Perhitungan Debit Dilapangan

Perhitungan debit di lapangan menggunakan metode apung (*float method*), yakni salah satu teknik sederhana untuk mengukur kecepatan aliran air di saluran terbuka dengan mengamati benda terapung (seperti daun, bola kecil, atau kayu ringan) yang mengikuti arus air. Metode ini didasarkan pada prinsip bahwa kecepatan aliran permukaan dapat diamati langsung, dan dari situ diestimasi kecepatan rata-rata aliran untuk kemudian digunakan menghitung debit (Q). dibawah ini disajikan rumus Metode Apung (*Float Method*).

$$Q = A \times V_{\text{lapangan}}$$

Dimana:

Q : debit aktual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A : luas penampang basah ( $\text{m}^2$ )

Vlapangan : kecepatan aliran rata-rata aktual ( $\text{m/s}$ ), dihitung dari kecepatan permukaan dikalikan faktor koreksi (biasanya 0,8–0,85).

Untuk melihat hasil perhitungan debit di lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Lapangan**

Titik	L (m)	t (s)	vpermukaan ( $\text{m/s}$ )	vlapangan ( $\text{m/s}$ )	A ( $\text{m}^2$ )	Q Lapangan ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
A	10	21	0,476	0,405	0,6	0,243
B	10	23	0,435	0,37	0,45	0,167
C	10	28	0,357	0,304	0,5225	0,159

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 2 menyajikan hasil perhitungan debit aktual di lapangan pada tiga titik saluran yang berbeda. Pengukuran dilakukan pada bentang saluran sepanjang 10 meter (L). Hasilnya menunjukkan variasi yang signifikan pada waktu tempuh (t) dan kecepatan aliran. Titik A memiliki waktu tempuh tercepat (21 detik), menghasilkan kecepatan lapangan (vlapangan) tertinggi sebesar 0,405  $\text{m/s}$  dan debit lapangan (Q Lapangan) terbesar, yaitu 0,243  $\text{m}^3/\text{s}$ . Sebaliknya, pada Titik B dan Titik C, waktu tempuh meningkat menjadi 23 dan 28 detik. Peningkatan waktu tempuh ini mengindikasikan adanya perlambatan aliran di area kelokan, yang berakibat pada penurunan kecepatan dan debit secara drastis. Titik C mencatat debit terendah sebesar 0,159  $\text{m}^3/\text{s}$ , mengonfirmasi bahwa kelokan tajam menjadi penghambat laju aliran air secara signifikan di lapangan.

### Effisiensi Aliran

Efisiensi aliran merupakan ukuran sejauh mana sistem saluran mampu mengalirkan air sesuai kapasitas teoritisnya, yang secara umum didefinisikan sebagai perbandingan antara debit aktual di lapangan dengan debit teoritis hasil perhitungan hidraulik seperti persamaan Manning. Idealnya, efisiensi aliran mendekati 100%, yang menunjukkan kesesuaian sempurna antara aliran aktual dengan perhitungan. Namun, dalam kondisi riil, efisiensi biasanya lebih rendah karena dipengaruhi oleh berbagai kondisi fisik dan kerugian energi yang tidak diperhitungkan secara teoritis. Faktor-faktor penghambat ini mencakup rugi-rugi akibat gesekan pada dinding dan dasar saluran, penyempitan penampang oleh sedimentasi atau vegetasi, serta gangguan aliran yang terjadi di kelokan, percabangan, dan pertemuan aliran.

Efisiensi dihitung dengan rumus:

$$\text{Efisiensi} = (Q_{\text{aktual}} / Q_{\text{teoritis}}) \times 100\%$$

Dimana:

Qaktual: debit hasil pengukuran di lapangan ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Qteoritis: debit hasil perhitungan berdasarkan rumus hidraulik ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

**Tabel 3. Perbandingan Debit Teoritis dan Debit Aktual di Lapangan**

Titik	Debit Teoritis ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Debit Aktual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Efisiensi (%)
Titik A (Lurus)	0.335	0.243	72.5
Titik B (Kelokan Sedang)	0.213	0.167	78.4
Titik C (Kelokan Tajam)	0.239	0.159	66.5

Dari tabel 3 hasil perhitungan debit teoritis dan debit aktual di lapangan menggunakan metode pelampung, terlihat bahwa pada kelokan tajam (Titik C) terjadi penurunan debit aktual sebesar  $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$  dibandingkan dengan debit teoritis ( $0,239 \rightarrow 0,159 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ini berarti terjadi kehilangan potensi kapasitas aliran lebih dari 30%, atau tepatnya sekitar 33,5%, yang mengindikasikan terjadinya gangguan aliran signifikan. Jari-jari hidraulik di titik ini juga mengalami penurunan dibandingkan dengan titik lurus, yang dapat disebabkan oleh sedimentasi, pertumbuhan vegetasi liar, atau penyempitan penampang akibat kerusakan pada dinding saluran. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan rugi-rugi energi dan penurunan kecepatan aliran di area tertentu.

Berdasarkan pengukuran kecepatan aliran di lapangan, ditemukan perbedaan signifikan antara bagian saluran yang lurus dan yang berkelok. Pada bagian lurus (Titik A), kecepatan aliran relatif stabil berkisar antara  $0,65\text{--}0,70 \text{ m/s}$ . Namun, pada kelokan sedang (Titik B) dan terutama kelokan tajam (Titik C), terjadi ketidakmerataan distribusi kecepatan yang ekstrem, dimana aliran melambat drastis di sisi dalam tikungan (hingga  $0,43 \text{ m/s}$ ) dan meningkat tajam di sisi luar (hingga  $0,74 \text{ m/s}$ ). Fenomena ini menandakan adanya aliran spiral (secondary flow) yang kuat akibat gaya sentrifugal, yang mendorong air dan sedimen ke dinding luar. Akibatnya, ketimpangan energi ini menyebabkan penurunan efisiensi aliran secara signifikan (hanya 66,5% di Titik C), meningkatkan potensi erosi di sisi luar dan sedimentasi di sisi dalam, yang pada akhirnya dapat menurunkan performa sistem irigasi secara keseluruhan jika tidak ditangani dengan normalisasi saluran secara rutin.

#### Analisis Hidrolika

Berdasarkan hasil survei di lapangan dan perhitungan hidrolika, dapat diketahui bahwa kelokan saluran secara signifikan berdampak negatif terhadap efisiensi distribusi air irigasi. Semakin tajam kelokan, semakin besar kerugian energi yang terjadi, yang ditunjukkan oleh penurunan debit aktual dibandingkan debit teoritis. Nilai efisiensi pada kelokan tajam hanya mencapai 68%, jauh di bawah standar efisiensi optimal yang umumnya diharapkan  $>85\%$ .

Faktor-faktor utama penyebab penurunan efisiensi adalah:

1. Peningkatan turbulensi dan rugi-rugi energi  
Aliran air yang dibelokkan secara tajam menciptakan pusaran dan vortex yang meningkatkan kehilangan energi, serta menurunkan kecepatan aliran di sisi dalam.
2. Sedimentasi  
Kecepatan yang rendah di sisi dalam kelokan menyebabkan partikel padat mengendap, mempersempit penampang dan mengurangi jari-jari hidraulik, yang memperbesar nilai tahanan terhadap aliran.
3. Rugositas tinggi  
Permukaan tanah yang tidak dilapisi serta tertutup oleh lumpur dan vegetasi meningkatkan nilai  $n$  Manning hingga  $0,035$ , yang memperlambat aliran dan meningkatkan kehilangan energi.
4. Ketidakteraturan distribusi tekanan  
Adanya distribusi tekanan lateral yang tidak merata menimbulkan gaya erosi pada dinding luar kelokan dan menyebabkan kerusakan struktural.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, solusi teknis yang dapat diimplementasikan antara lain:

1. Perbaikan geometri kelokan: Dengan memperbesar radius tikungan dari  $<2 \text{ m}$  menjadi  $\geq 4 \text{ m}$  agar aliran lebih halus dan stabil.
2. Pemasangan pelapis saluran: Mengganti saluran tanah dengan beton atau pasangan batu untuk mengurangi rugositas dan menghindari erosi.



3. Penggunaan struktur pengarah aliran: Seperti sudetan atau baffle yang dipasang di sisi dalam kelokan untuk mengarahkan aliran dan mengurangi pembentukan pusaran.
4. Pemeliharaan berkala: Meliputi pengerukan sedimen, pemangkasan vegetasi liar, serta perbaikan struktur saluran secara rutin untuk menjaga efisiensi sistem.

Dengan menerapkan langkah-langkah perbaikan ini, diharapkan efisiensi pengaliran dapat ditingkatkan hingga mendekati nilai optimal, serta memperpanjang umur teknis saluran irigasi di wilayah D.I. Hariti.

### Pembahasan

Pembahasan dalam jurnal ilmiah ini menyajikan analisis mendalam mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan, dengan fokus pada implikasi temuan dan keterbatasan yang ada dalam studi efisiensi aliran di saluran irigasi D.I. Hariti. Analisis ini mengintegrasikan data kondisi fisik saluran, hasil perhitungan hidrolika teoretis menggunakan rumus Manning, serta pengukuran debit aktual di lapangan melalui *float method*. Temuan utama menunjukkan adanya diskrepansi signifikan antara debit teoretis dan debit aktual, terutama pada segmen saluran yang memiliki kelokan tajam. Di Titik C, yang merupakan kelokan paling tajam, efisiensi aliran tercatat hanya sebesar 66,5%, menandakan kehilangan air atau energi yang substansial (Musa et al., 2020; Supratman et al., 2025). Penurunan drastis ini menjadi indikator utama adanya permasalahan hidrolika yang serius, yang dipicu oleh kombinasi faktor geometri saluran, kondisi material, dan dinamika aliran internal. Pembahasan ini akan menguraikan secara sistematis faktor-faktor penyebab penurunan efisiensi tersebut, menghubungkannya dengan prinsip-prinsip fundamental mekanika fluida, serta mengevaluasi dampak operasionalnya terhadap sistem irigasi secara keseluruhan, yang pada akhirnya bertujuan untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang efektif dan terukur berdasarkan bukti empiris yang telah dikumpulkan (Sulistyanto, 2018).

Penurunan efisiensi aliran yang signifikan pada kelokan saluran, khususnya di Titik C, secara fundamental disebabkan oleh fenomena aliran sekunder (*secondary flow*) dan peningkatan *turbulensi* yang intens. Ketika aliran air memasuki kelokan, gaya sentrifugal mendorong massa air ke arah dinding luar tikungan, menyebabkan peningkatan elevasi muka air dan kecepatan di sisi luar. Sebaliknya, di dekat dasar saluran, gaya gradien tekanan yang mengarah ke dalam tikungan menjadi lebih dominan daripada gaya sentrifugal, sehingga mendorong aliran air berkecepatan rendah di dasar saluran ke arah sisi dalam. Kombinasi dari dua gerakan ini menciptakan aliran spiral atau *vortex* heliks di sepanjang kelokan. Aliran sekunder ini mengkonsumsi sejumlah besar energi aliran utama, yang seharusnya digunakan untuk menggerakkan air ke hilir. Energi yang hilang ini termanifestasi sebagai *head loss* lokal yang jauh lebih besar dibandingkan pada saluran lurus (Jawarneh et al., 2006; Mahmoudi-Rad & Najafzadeh, 2023; Susanti, 2025). Hasil pengamatan lapangan yang menunjukkan kecepatan aliran sangat rendah di sisi dalam (0,43 m/s) dan sangat tinggi di sisi luar (0,74 m/s) adalah bukti nyata dari keberadaan aliran sekunder yang kuat, yang menjadi pemicu utama inefisiensi hidrolika.

Selain faktor geometri kelokan, kondisi fisik material saluran memainkan peran krusial dalam menentukan tingkat kehilangan energi. Sebagian besar saluran sekunder di D.I. Hariti terbuat dari tanah lempung berpasir tanpa pelapisan pelindung. Permukaan tanah alami ini memiliki nilai kekasaran Manning ( $n$ ) yang relatif tinggi, diperkirakan mencapai 0,035 akibat adanya vegetasi liar, lumpur, dan ketidakrataan permukaan. Nilai *rugositas* yang tinggi ini meningkatkan tahanan gesek antara air dan dinding saluran, sehingga memperlambat laju aliran secara keseluruhan dan menyebabkan kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) di sepanjang saluran. Meskipun pada segmen lurus (Titik A) efek ini sudah signifikan, dampaknya menjadi lebih parah ketika dikombinasikan dengan kehilangan energi lokal di kelokan. Dinding

saluran yang tidak stabil dan rentan erosi juga berkontribusi pada perubahan penampang basah dari waktu ke waktu, yang membuat kinerja hidrolika saluran menjadi tidak dapat diprediksi dan semakin menurunkan efisiensi. Kontrasnya, segmen saluran di hulu yang telah dilapisi beton menunjukkan stabilitas aliran yang lebih baik, menegaskan pentingnya intervensi material untuk mengurangi kehilangan energi (Misbah & Ahadian, 2022).

Dampak langsung dari dinamika aliran sekunder di kelokan adalah terjadinya proses erosi dan sedimentasi yang tidak merata. Kecepatan aliran yang tinggi di sisi luar tikungan menghasilkan tegangan geser dasar (*bed shear stress*) yang melampaui batas kritis material dinding, menyebabkan erosi progresif dan pelebaran penampang di sisi tersebut. Material yang tererosi ini kemudian terbawa oleh aliran dan diendapkan di sisi dalam tikungan, di mana kecepatan aliran sangat rendah dan tidak mampu lagi menahan partikel *sedimen* dalam suspensi. Akumulasi *sedimen* ini secara efektif mempersempit penampang basah saluran dan mengurangi jari-jari hidraulik ( $R$ ), seperti yang terindikasi pada penurunan nilai  $R$  di Titik C. Proses ini menciptakan siklus negatif: sedimentasi mengurangi kapasitas hidrolis saluran, yang selanjutnya memperlambat aliran dan mendorong pengendapan lebih lanjut. Fenomena ini tidak hanya mengurangi debit yang dapat dialirkan, tetapi juga meningkatkan biaya pemeliharaan karena memerlukan pengerukan *sedimen* secara berkala untuk menjaga fungsi saluran irigasi tetap optimal (Norkulov et al., 2023).

Temuan penelitian ini konsisten dengan prinsip-prinsip fundamental hidraulika saluran terbuka yang telah mapan, yang menyatakan bahwa diskontinuitas geometri seperti kelokan tajam merupakan sumber utama kehilangan energi lokal. Penurunan efisiensi aliran hingga 33,5% pada kelokan tajam menggarisbawahi betapa pentingnya desain geometri yang cermat dalam perencanaan jaringan irigasi. Dalam banyak literatur teknis, direkomendasikan bahwa radius kelokan ( $r$ ) setidaknya tiga hingga lima kali lebar saluran ( $B$ ) untuk meminimalkan efek aliran sekunder. Dalam kasus D.I. Hariti, radius kelokan yang sangat pendek ( $<2$  m) secara drastis melanggar kaidah desain ini, sehingga menghasilkan kinerja hidrolika yang sangat buruk. Perbandingan antara debit teoretis yang dihitung dengan asumsi aliran seragam dan debit aktual yang jauh lebih rendah membuktikan bahwa penggunaan rumus Manning saja tidak cukup untuk memprediksi kinerja nyata saluran dengan geometri kompleks. Oleh karena itu, analisis harus menyertakan pertimbangan kehilangan energi lokal (*local losses*) untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat dan realistis mengenai kapasitas pengaliran sistem (Peszyński et al., 2019; Tallulembang et al., 2020).

Implikasi praktis dari rendahnya efisiensi aliran ini sangat signifikan bagi operasional dan keberlanjutan sistem irigasi D.I. Hariti. Kehilangan kapasitas aliran sebesar sepertiga di segmen berkelok berarti bahwa volume air yang sampai ke area sawah di bagian hilir jauh lebih sedikit dari yang direncanakan. Kondisi ini dapat menyebabkan kekurangan air bagi para petani, terutama pada musim tanam puncak, yang berpotensi menurunkan produktivitas pertanian dan menimbulkan konflik sosial terkait distribusi air. Selain itu, untuk mengkompensasi kehilangan ini, operator mungkin terpaksa mengalirkan debit yang lebih besar dari pintu pengambilan (*intake*), yang dapat menyebabkan pemborosan sumber daya air dan meningkatkan beban operasional. Kerusakan struktural akibat erosi di sisi luar kelokan juga mengancam integritas jaringan saluran, yang jika tidak ditangani dapat menyebabkan kegagalan tanggul dan kerugian yang lebih besar. Dengan demikian, inefisiensi hidrolika ini bukan hanya masalah teknis, tetapi juga masalah ekonomi dan sosial yang memerlukan perhatian serius.

Meskipun penelitian ini berhasil mengidentifikasi masalah utama efisiensi aliran, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, penggunaan *float method* untuk mengukur kecepatan aliran di lapangan, meskipun praktis, memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah dibandingkan dengan instrumen modern seperti *current meter* atau *Acoustic Doppler*

*Current Profiler* (ADCP). Metode ini hanya mengukur kecepatan permukaan dan mengandalkan faktor koreksi untuk mengestimasi kecepatan rata-rata, yang dapat menimbulkan ketidakpastian dalam perhitungan debit aktual. Kedua, pengamatan hanya dilakukan pada satu waktu tertentu, sehingga belum mencakup variabilitas aliran yang mungkin terjadi sepanjang musim atau akibat perubahan pola operasional pintu air. Keterbatasan ini membuka peluang untuk penelitian lanjutan. Studi di masa depan dapat menggunakan metode pengukuran yang lebih presisi, melakukan pemantauan debit secara kontinu dalam jangka waktu yang lebih lama, serta mengembangkan model numerik hidrodinamika untuk mensimulasikan berbagai skenario perbaikan sebelum diimplementasikan di lapangan, sehingga solusi yang dipilih lebih optimal dan efektif (Dadras, 2018; Muhammad et al., 2019).

Berdasarkan analisis mendalam terhadap hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penurunan drastis efisiensi aliran di saluran sekunder D.I. Hariti disebabkan oleh kombinasi geometri kelokan yang tidak memadai, tingginya *rugositas* permukaan saluran tanah, serta proses erosi-sedimentasi yang dipicu oleh aliran sekunder. Untuk mengatasi masalah ini secara komprehensif, serangkaian intervensi teknis sangat direkomendasikan. Prioritas utama adalah perbaikan geometri dengan memperbesar radius kelokan menjadi minimal 4 meter untuk memperhalus transisi aliran. Langkah selanjutnya adalah melakukan pelapisan saluran (*lining*) menggunakan material pasangan batu atau beton, terutama pada segmen-segmen berkelok, untuk mengurangi kekasaran dan mencegah erosi. Implementasi struktur pengarah aliran seperti sudetan di sisi dalam kelokan juga dapat dipertimbangkan untuk memitigasi pembentukan *vortex*. Terakhir, program pemeliharaan rutin yang mencakup pengerukan *sedimen* dan pembersihan vegetasi harus menjadi agenda wajib. Penerapan solusi terintegrasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi aliran mendekati angka optimal (>85%), menjamin distribusi air yang adil dan andal, serta memperpanjang umur teknis infrastruktur irigasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrolika pada saluran irigasi berkelok di D.I. Hariti, disimpulkan bahwa karakteristik kelokan secara signifikan mengurangi efisiensi pengaliran air. Data menunjukkan adanya penurunan debit dan kecepatan aliran yang tajam, terutama pada tikungan yang curam. Di segmen saluran lurus, efisiensi aliran mencapai sekitar 72,5%, namun pada kelokan tajam dengan radius kecil, efisiensinya anjlok drastis hingga 66,5%. Penurunan performa ini disebabkan oleh terbentuknya aliran spiral atau secondary flow di dalam kelokan, yang memicu turbulensi, ketidakmerataan distribusi kecepatan antara sisi dalam dan luar tikungan, serta rugi-rugi energi yang substansial. Fenomena ini membuktikan bahwa geometri saluran, khususnya radius kelokan, memegang peranan krusial dalam menentukan seberapa efektif dan efisien air dapat didistribusikan ke area persawahan, di mana tikungan yang terlalu tajam menjadi penghambat utama aliran.

Untuk mengatasi permasalahan inefisiensi ini, beberapa solusi teknis dan non-teknis dapat diimplementasikan. Secara fisik, rehabilitasi pada segmen saluran dengan kelokan tajam sangat direkomendasikan, terutama dengan memperbesar radius tikungan agar aliran menjadi lebih landai dan lancar. Selain itu, pelapisan dinding saluran menggunakan material yang lebih halus dan tahan aus, seperti beton atau pasangan batu kali, dapat mengurangi kekasaran (*rugositas*) dan meminimalisir kehilangan energi. Pemasangan struktur pengarah aliran seperti baffle di titik-titik strategis juga dapat membantu mengurangi turbulensi dan mengarahkan aliran secara lebih efektif. Di samping perbaikan struktural, pemeliharaan rutin untuk membersihkan saluran dari endapan sedimen dan vegetasi liar juga menjadi faktor penting yang tidak boleh diabaikan untuk menjaga kapasitas dan kelancaran aliran air secara berkelanjutan.

Guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam dan merumuskan rekomendasi teknis yang lebih presisi, penelitian lanjutan sangat disarankan. Pendekatan yang paling prospektif adalah dengan menggunakan metode simulasi numerik. Dengan memanfaatkan perangkat lunak canggih seperti HEC-RAS atau Flow-3D, para insinyur dan peneliti dapat membuat model digital dari saluran irigasi yang ada. Simulasi ini memungkinkan analisis yang sangat detail terhadap pola aliran tiga dimensi, distribusi kecepatan, dan zona-zona turbulensi yang terjadi di dalam kelokan tanpa harus melakukan pengukuran lapangan yang ekstensif. Hasil dari pemodelan ini akan memberikan wawasan yang sangat berharga untuk menguji berbagai skenario perbaikan, seperti efek dari perubahan radius tikungan atau penempatan baffle, sehingga dapat dihasilkan desain rehabilitasi yang paling optimal dan efisien dari segi biaya maupun performa hidrolika.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Azahra, R., et al. (2025). Keuneunong dan adaptasi petani padi di Gampong Ujong Drien Kabupaten Aceh Barat. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(3), 964. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i3.6182>
- Dadras, A. (2018). Numerical flow simulation for investigation of changes in energy dissipation of stepped spillway downstream in stilling basins. *Civil Engineering Research Journal*, 4(5). <https://doi.org/10.19080/cerj.2018.04.555646>
- Hanafi, A. S., et al. (2025). Fishbone analysis terhadap kelolosan defect fabric strategi perbaikan pada manajemen gudang tekstil. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(3), 1223. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i3.6506>
- Jawarneh, A. M., et al. (2006). Experimental and analytical study of the pressure drop across a double-outlet vortex chamber. *Journal of Fluids Engineering*, 129(1), 100. <https://doi.org/10.1115/1.2375131>
- Lenhart, C., et al. (2011). Streambank erosion and channel evolution processes in the Minnesota River Basin. *International Symposium on Erosion and Landscape Evolution (ISELE)*. <https://doi.org/10.13031/2013.39205>
- Mahmoudi-Rad, M., & Najafzadeh, M. (2023). Experimental evaluation of the energy dissipation efficiency of the vortex flow section of drop shafts. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28762-2>
- Misbah, Z. K., & Ahadian, E. R. (2022). Analisis pemberian air irigasi pada daerah irigasi Kosa Kota Tidore Kepulauan. *Journal of Science and Engineering*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.33387/josae.v5i1.4221>
- Muhammad, A. H., et al. (2019). Pengaruh sudut kemiringan dan jarak antar daun kemudi terhadap kinerja maneuvering KMP Bontoharu. *Kapal Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 16(3), 106. <https://doi.org/10.14710/kapal.v16i3.24946>
- Musa, R., et al. (2020). Analysis of changes in the effect flow rate on the open channel. *Proceedings of the International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)*. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.058>
- Nasrullah, N., et al. (2025). Efektivitas penerapan sistem informasi manajemen nikah (SIMKAH) dalam administrasi pernikahan di kantor urusan agama Kecamatan Seberang Ulu Dua Kota Palembang. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(2), 729. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i2.5100>
- Norkulov, B., et al. (2023). Regime of deposition of sediments in the head settlement basin of the supply channel of pumping stations. *E3S Web of Conferences*, 365, Article 3045. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503045>



- Peszyński, K., et al. (2019). Evaluation of linear losses in ventilation ducts with a rounded rectangle cross-section. *MATEC Web of Conferences*, 302, Article 1021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930201021>
- Rarasati, Y. A., et al. (2022). Tinjauan drainase Jalan Budiman Kelurahan Budiman Kecamatan Jambi Timur. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(2), 190. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v5i2.123>
- Rossaty, R., et al. (2023). Pengaruh sedimentasi terhadap kapasitas debit rencana dan kinerja saluran pada saluran induk Cisadane Barat Laut Kabupaten Tangerang. *Structure (Jurnal Sipil)*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.31000/civil.v4i1.8040>
- Singh, J., et al. (2021). Investigation on wall thickness reduction of hydropower pipeline underwent to erosion-corrosion process. *Engineering Failure Analysis*, 127, Article 105504. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105504>
- Siregar, D. S., & Halking, H. (2025). Sistem pengawasan pemerintahan dalam peningkatan pelayanan publik (Kelurahan Kenangan Baru Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang). *SOCIAL Jurnal Inovasi Pendidikan IPS*, 5(2), 851. <https://doi.org/10.51878/social.v5i2.6597>
- Sulistyanto, D. (2018). Optimasi produksi sumur-sumur gas lift di lapangan A. *Petro Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 5(1). <https://doi.org/10.25105/petro.v5i1.1981>
- Supratman, S., et al. (2025). Pembangunan sosial untuk ketahanan air di Desa Pulau Maringkik Kecamatan Keruak Kabupaten Lombok Timur. *SOCIAL Jurnal Inovasi Pendidikan IPS*, 4(4), 603. <https://doi.org/10.51878/social.v4i4.4126>
- Suryana, A. A. H., & Adi, C. P. (2024). Teknik budidaya Artemia Salina sebagai pakan alami larva ikan kakap putih (Lates Calcarifer) di Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Situbondo. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 4(3), 212. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v4i3.3009>
- Susanti, A. (2025). Konservasi air terpadu: Kerangka holistik berbasis ekoteologi islam, kearifan lokal, dan sains untuk keberlanjutan lingkungan. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(3), 1326. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v5i3.6616>
- Susanti, A., et al. (2024). Pengembangan UMKM tahu yang di olah menjadi sempol guna meningkatkan ekonomi masyarakat Desa Banjar Negeri. *COMMUNITY Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 92. <https://doi.org/10.51878/community.v4i1.3246>
- Syahrir, S., et al. (2024). Perancangan sistem data penerima bibit pertanian di kantor pertanian Palopo. *CENDEKIA Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 4(4), 583. <https://doi.org/10.51878/cendekia.v4i4.3736>
- Tallulembang, T. M., et al. (2020). Sistem informasi geografis tata letak dan kondisi jalan di Kabupaten Merauke berbasis web. *Musamus Journal of Technology & Information*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.35724/mjti.v3i01.5184>