

Analisis Optimalisasi Biaya dan Waktu dalam Perencanaan Bangunan Irigasi Sawah Menggunakan Pendekatan Value Engineering

Fikri Damara*, Johannes Tarigan, Gina Cynthia Raphita Hasibuan

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: fikri.damara@usu.ac.id*, johannes.tarigan@usu.ac.id, gina.hasibuan@usu.ac.id

Keywords:

value engineering; rice field irrigation; cost optimization; time optimization; construction planning.

Abstract

The development of rice field irrigation infrastructure has an important role in supporting national food security. However, the implementation of irrigation projects often faces problems in the form of cost overruns, long implementation times, This study aims to analyze cost optimization, time without reducing quality in the planning of rice field irrigation buildings using the Value Engineering (VE) approach in Tanjung Morawa District, Deli Serdang Regency. The research was conducted by evaluating several alternative secondary channel structures, namely reinforced concrete, kali rock pairs, and precast U-Ditch. The research method using the Value Engineering stage includes the information stage, function analysis, creativity, evaluation, and recommendation. The results showed that the 60×40 cm reinforced concrete alternative resulted in the greatest cost savings of 50.09%, while the 60×40 precast U-Ditch alternative provided the best implementation time acceleration of 65.52% compared to the initial planning. The precast U-Ditch alternative was chosen as the most optimal alternative because it was able to provide a balance between cost efficiency, accelerated implementation time, and technical quality fulfillment. The use of a precast system is also considered more effective in supporting the sustainability of irrigation water distribution so that it does not interfere with the planting period of farmers. This research proves that the application of Value Engineering at the planning stage is able to produce more efficient design alternatives and support the development of agricultural infrastructure.

Kata kunci:

value engineering; irigasi sawah; optimalisasi biaya; optimalisasi waktu; perencanaan konstruksi

Abstrak

Pembangunan infrastruktur irigasi sawah memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Namun, pelaksanaan proyek irigasi sering menghadapi permasalahan berupa pembengkakan biaya, waktu pelaksanaan yang panjang, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis optimalisasi biaya, waktu tanpa mengurangi mutu pada perencanaan bangunan irigasi sawah menggunakan pendekatan Value Engineering (VE) di Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang. Penelitian dilakukan dengan mengevaluasi beberapa alternatif struktur saluran sekunder, yaitu beton bertulang, pasangan batu kali, dan U-Ditch precast. Metode penelitian menggunakan tahapan Value Engineering meliputi tahap informasi, analisis fungsi, kreativitas, evaluasi, dan rekomendasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif beton bertulang 60×40 cm menghasilkan penghematan biaya terbesar sebesar 50,09%, sedangkan alternatif U-Ditch precast 60×40 memberikan percepatan waktu pelaksanaan terbaik sebesar 65,52% dibandingkan perencanaan awal. Alternatif U-Ditch precast dipilih sebagai alternatif paling optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara efisiensi biaya, percepatan waktu pelaksanaan, dan pemenuhan mutu teknis. Penggunaan sistem pracetak juga dinilai lebih

efektif dalam mendukung keberlanjutan distribusi air irigasi sehingga tidak mengganggu masa tanam petani. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan Value Engineering pada tahap perencanaan mampu menghasilkan alternatif desain yang lebih efisien dan mendukung pembangunan infrastruktur pertanian.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur irigasi merupakan bagian penting dari upaya memperkuat produktivitas pertanian dan ketahanan pangan. Ketersediaan air yang cukup, merata, dan dapat dikendalikan menentukan keberhasilan pola tanam, terutama pada lahan sawah yang bergantung pada jaringan saluran sekunder dan tersier. Dalam konteks tersebut, perencanaan saluran tidak dapat hanya dipahami sebagai pekerjaan fisik, tetapi juga sebagai keputusan teknis dan manajerial yang mempengaruhi biaya, waktu, mutu, serta keberlanjutan pelayanan air kepada petani. FAO (2022) menegaskan bahwa sistem pertanian yang tangguh membutuhkan dukungan infrastruktur yang efisien, sedangkan regulasi nasional tentang pangan menempatkan ketersediaan pangan sebagai agenda strategis yang memerlukan dukungan lintas sektor (Republik Indonesia, 2012).

Permasalahan umum pada proyek irigasi daerah adalah keterbatasan anggaran, ketidaktepatan pemilihan desain, durasi pelaksanaan yang panjang, dan risiko mutu akibat pekerjaan lapangan yang tidak sepenuhnya terkendali. Ashour et al. (2024) menunjukkan bahwa rehabilitasi saluran irigasi membutuhkan penentuan prioritas dan pemilihan desain yang berbasis efisiensi agar manfaat perbaikan dapat dicapai dengan sumber daya terbatas. Pada sisi lain, Anggraini dan Melloukey (2023) menyatakan bahwa metode konstruksi dan pemilihan material saluran berpengaruh langsung terhadap besaran anggaran dan lamanya pekerjaan.

Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang, menjadi wilayah kajian karena memiliki cakupan program optimalisasi lahan rawa yang cukup luas dan terkait langsung dengan pengembangan jaringan irigasi pertanian. Dalam dokumen perencanaan, pekerjaan yang dianalisis adalah saluran lining beton pada Gapoktan Karya Tani, Desa Lengau Serpang, dengan panjang 450 m. Perencanaan awal menggunakan saluran beton bertulang 60x60 cm, tebal 15 cm, tulangan D12 dengan jarak 15 cm, serta mutu beton f_c' 40 MPa. Desain tersebut secara teknis kuat, tetapi memerlukan biaya dan waktu pelaksanaan yang relatif besar sehingga terbuka ruang evaluasi nilai.

Pendekatan *Value Engineering* dipilih karena mampu memeriksa kembali hubungan antara fungsi dan biaya. Dell'Isola (1997) menjelaskan bahwa rekayasa nilai bertujuan memperoleh fungsi yang dibutuhkan dengan biaya siklus hidup paling rasional, tanpa mengurangi kinerja, keandalan, mutu, dan keselamatan. Sejalan dengan itu, Ismaeil (2024) menempatkan *Value Engineering* sebagai pendekatan terintegrasi untuk meningkatkan keberlanjutan proyek konstruksi melalui pemilihan alternatif yang lebih efisien. Dalam proyek irigasi, prinsip tersebut relevan karena desain yang lebih cepat dikerjakan dapat mengurangi gangguan distribusi air pada masa tanam.

Penelitian tentang *Value Engineering* pada infrastruktur telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih terfokus pada proyek gedung, jalan, atau drainase perkotaan (Karim et al., 2023; Iswanto & Indryani, 2023; Ibnu et al., 2024). Sementara itu, penerapan VE pada infrastruktur pertanian, khususnya saluran irigasi sawah, masih sangat terbatas. Studi yang ada lebih banyak membahas aspek hidrolis atau rehabilitasi saluran secara terpisah, tanpa mengintegrasikan penilaian simultan terhadap biaya, waktu, dan mutu dalam satu kerangka analisis. Padahal, saluran irigasi sawah memiliki karakteristik khusus karena menyangkut keberlanjutan distribusi air dan masa tanam petani yang tidak dapat ditunda.

Gap penelitian ini terletak pada belum adanya kajian yang menerapkan *Value Engineering* secara terpadu pada perencanaan bangunan irigasi sawah dengan membandingkan alternatif struktur beton bertulang, pasangan batu kali, dan U-Ditch pracetak secara simultan

berdasarkan tiga dimensi utama yaitu biaya, waktu, dan mutu. Penelitian sebelumnya cenderung mengevaluasi setiap aspek secara terpisah atau hanya berfokus pada satu jenis material. Kebaruan kajian terletak pada penerapan *Value Engineering* secara terpadu pada infrastruktur pertanian, bukan hanya pada proyek gedung atau drainase, serta penilaian simultan terhadap aspek biaya, waktu, dan mutu.

Penelitian ini bertujuan mengkaji optimalisasi biaya, waktu, dan mutu dalam perencanaan bangunan irigasi sawah dengan membandingkan beberapa alternatif desain saluran (Zhou et al., 2025; Kazemi et al., 2025). Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan tidak hanya menghasilkan penghematan anggaran (Elmousalami et al., 2024), tetapi juga memberikan alternatif perencanaan yang bernilai lebih tinggi bagi petani dan pengelola irigasi (Li et al., 2022; Zhang et al., 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan **Value Engineering** sebagai metode analisis utama (Chen et al., 2022). Pendekatan kuantitatif digunakan karena setiap alternatif saluran dibandingkan berdasarkan indikator terukur, yaitu total biaya pekerjaan, durasi pelaksanaan, serta kelayakan mutu teknis (Li et al., 2021; Gaikwad et al., 2021). Data primer diperoleh melalui survei kondisi saluran dan wawancara dengan pihak perencana, sedangkan data sekunder berupa gambar kerja, rencana anggaran biaya, jadwal pekerjaan, standar satuan harga, dan standar teknis perencanaan irigasi (García-Mollá et al., 2021; Shanono & Nasidi, 2022).

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang. Sampel analisis difokuskan pada saluran irigasi Gapoktan Karya Tani di Desa Lengau Serpang karena objek tersebut memiliki item struktur saluran lining beton bertulang yang dapat dibandingkan dengan alternatif desain lain. Perencanaan awal berupa saluran beton bertulang dimensi 60x60 cm, tebal 15 cm, panjang 450 m, dengan total biaya Rp572.912.666 dan durasi pelaksanaan 87 hari.

Tahapan analisis mengikuti *job plan Value Engineering* yang terdiri atas tahap informasi, analisis fungsi, kreativitas, evaluasi, dan rekomendasi. Tahap informasi digunakan untuk mengidentifikasi data proyek dan perencanaan awal. Tahap analisis fungsi memetakan fungsi utama saluran, yaitu mengalirkan air, menahan tanah, dan mengurangi kehilangan air. Tahap kreativitas menghasilkan alternatif berupa beton bertulang 60x40 cm, pasangan batu kali, dan *U-Ditch* pracetak 60x40 cm. Tahap evaluasi membandingkan mutu, biaya, dan waktu tiap alternatif, sedangkan tahap rekomendasi menetapkan alternatif dengan nilai terbaik.

Evaluasi mutu dilakukan melalui penilaian hidrolis, struktur, stabilitas, dan pengendalian mutu konstruksi. Pada alternatif beton bertulang, penilaian mengacu pada keamanan penampang, kuat lentur, kuat geser, serta kebutuhan tulangan berdasarkan prinsip SNI 2847:2019. Pada pasangan batu kali, evaluasi stabilitas dilakukan terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah. Pada *U-Ditch* pracetak, mutu dinilai dari konsistensi proses fabrikasi, keseragaman dimensi, dan kemudahan pengawasan pemasangan. Efisiensi biaya dan waktu dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Eb = ((C1 - C2) / C1) \times 100\%$$

Keterangan: Eb adalah efisiensi biaya, C1 adalah biaya perencanaan awal, dan C2 adalah biaya alternatif hasil *Value Engineering*.

$$Et = ((T1 - T2) / T1) \times 100\%$$

Keterangan: Et adalah efisiensi waktu, T1 adalah durasi perencanaan awal, dan T2 adalah durasi alternatif hasil *Value Engineering*.

Tabel 1. Ringkasan Objek dan Variabel Penelitian

Komponen	Keterangan
Lokasi kajian	Kecamatan Tanjung Morawa, Kabupaten Deli Serdang
Objek sampel	Saluran irigasi Gapoktan Karya Tani, Desa Lengau Serpang
Panjang saluran	450 m
Desain awal	Beton bertulang 60x60 cm, tebal 15 cm, tulangan D12-150, fc' 40 MPa
Variabel analisis	Biaya pekerjaan, waktu pelaksanaan, dan mutu teknis
Alternatif kajian	Beton bertulang 60x40 cm, pasangan batu kali, dan U-Ditch pracetak 60x40 cm

Sumber: Diolah dari dokumen perencanaan dan hasil analisis, 2026

Tabel 1 menunjukkan bahwa penelitian difokuskan pada item pekerjaan struktur saluran. Pembatasan objek ini membuat evaluasi *Value Engineering* lebih terarah karena fungsi, volume, biaya, dan durasi setiap alternatif dapat dibandingkan pada satu panjang pekerjaan yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Fungsi Saluran Irigasi

Tahap analisis fungsi menunjukkan bahwa saluran irigasi tidak hanya berfungsi sebagai media pembawa air, tetapi juga sebagai struktur pelindung terhadap erosi, rembesan, dan perubahan penampang. Berdasarkan hasil wawancara perencana, fungsi dasar saluran adalah menjamin air tersedia secara cukup, merata, dan terjadwal sampai ke lahan sawah. Fungsi ini menjadi dasar penilaian karena setiap alternatif harus tetap mampu melayani kebutuhan air tanaman walaupun bentuk, material, dan metode pelaksanaannya berubah.

Fungsi primer saluran meliputi menyalurkan air irigasi, menahan tekanan tanah, mengurangi kehilangan air akibat rembesan, dan menjaga kapasitas aliran. Fungsi sekunder meliputi mempermudah pemeliharaan, memperpanjang umur layanan, mengurangi sedimentasi, dan menyesuaikan konstruksi dengan kondisi lingkungan. Kondisi eksisting yang mengalami sedimentasi dan ketidakrataan dasar saluran menunjukkan bahwa alternatif desain harus memperbaiki kinerja hidrolis sekaligus memastikan stabilitas dinding saluran.

Dalam kerangka *Value Engineering*, biaya hanya dapat dikurangi apabila fungsi utama tetap dipenuhi. Oleh karena itu, alternatif saluran tanah tidak dipilih sebagai alternatif akhir karena kemampuan menahan tanah dan mengurangi rembesan relatif rendah. Evaluasi difokuskan pada tiga alternatif yang masih dapat memenuhi fungsi primer, yaitu beton bertulang 60x40 cm, pasangan batu kali, dan *U-Ditch* pracetak 60x40 cm.

Tabel 2. Perbandingan Fungsi Utama Alternatif Saluran

Alternatif	Menahan tanah	Mengurangi kebocoran	Mengalirkan air	Penilaian umum
Beton bertulang 60x40 cm	Baik; kuat lentur dan geser dapat dikontrol melalui desain tulangan.	Baik; lapisan beton mengurangi rembesan apabila mutu pengecoran terjaga.	Baik; penampang seragam dan permukaan relatif halus.	Layak secara fungsi dan memiliki biaya paling rendah.

Pasangan batu kali	Sedang; aman jika pondasi stabil dan pasangan rapi.	Sedang; bergantung pada mutu nat dan adukan.	Sedang; permukaan lebih kasar dibanding beton.	Layak pada kondisi lokal, tetapi durasi lebih panjang.
U-Ditch pracetak 60x40 cm	Baik; elemen pracetak kaku dan stabil.	Baik; sambungan dapat disegel untuk menekan rembesan.	Baik; dimensi dan permukaan seragam.	Nilai fungsi kuat, mutu terkendali, dan pemasangan tercepat.

Sumber: Hasil analisis fungsi, 2026

Berdasarkan Tabel 2, seluruh alternatif terpilih masih memenuhi fungsi dasar saluran, tetapi memiliki karakteristik nilai yang berbeda. Beton bertulang 60x40 cm unggul pada efisiensi material, pasangan batu kali unggul pada ketersediaan bahan lokal, sedangkan *U-Ditch* pracetak unggul pada keseragaman mutu dan kecepatan pemasangan.

Evaluasi Mutu, Biaya, dan Waktu

Alternatif beton bertulang 60x40 cm mempertahankan konsep struktur desain awal, tetapi mengoptimalkan dimensi, tebal dinding, dan kebutuhan pembesian. Hasil analisis hidrolis menunjukkan bahwa dimensi 60x40 cm masih aman untuk mengalirkan debit yang dibutuhkan. Secara struktur, alternatif ini dianalisis sebagai dinding kantilever sederhana per meter panjang. Nilai rasio momen dan geser berada dalam batas aman, sehingga desain dapat digunakan dengan catatan pengendalian mutu pengecoran di lapangan dilakukan secara ketat.

Alternatif pasangan batu kali dievaluasi sebagai dinding saluran dengan tinggi 0,60 m dan lebar dasar 0,50 m. Hasil stabilitas menunjukkan faktor keamanan guling sebesar 2,728 dan faktor keamanan geser sebesar 1,936, keduanya lebih besar dari batas minimum 1,5. Tegangan tanah maksimum sebesar 4,302 ton/m² juga lebih kecil dari daya dukung izin 15 ton/m². Dengan demikian, pasangan batu kali aman secara stabilitas, tetapi waktu pelaksanaannya lebih panjang karena pekerjaan sangat bergantung pada keterampilan pekerja dan kerapian pasangan.

Alternatif *U-Ditch* pracetak 60x40 cm dinilai memiliki keunggulan mutu karena proses pembuatan dilakukan secara fabrikasi. Elemen saluran diproduksi dengan cetakan, komposisi beton, pemadatan, dan perawatan yang lebih terkendali dibandingkan pengecoran di tempat. Di lapangan, pekerjaan difokuskan pada persiapan dasar, pengaturan elevasi, pemasangan, penyambungan, dan penimbunan kembali. Kondisi tersebut mengurangi risiko keterlambatan akibat cuaca, kesalahan pengecoran, dan ketidakteraturan mutu beton.

Perbandingan biaya dan waktu terhadap perencanaan awal ditunjukkan pada Tabel 3. Perencanaan awal memiliki biaya Rp572.912.666 dan durasi 87 hari. Seluruh alternatif hasil *Value Engineering* memberikan penghematan biaya dan percepatan waktu, tetapi pola optimasinya berbeda. Alternatif biaya paling rendah tidak otomatis menjadi alternatif terbaik apabila proyek membutuhkan percepatan tinggi untuk menjaga kontinuitas distribusi air irigasi.

Tabel 3. Optimalisasi Biaya dan Waktu terhadap Perencanaan Awal

No	Alternatif	Biaya	Penghematan biaya	Efisiensi biaya	Durasi	Efisiensi waktu
1	Perencanaan awal beton bertulang 60x60 cm	Rp572.912.666	-	-	87 hari	-
2	Beton bertulang 60x40 cm	Rp285.920.404	Rp286.992.262	50,09%	35 hari	59,77%

3	Pasangan batu kali	Rp309.894.334	Rp263.018.332	45,91%	45 hari	48,28%
4	U-Ditch pracetak 60x40 cm	Rp351.014.667	Rp221.897.999	38,73%	30 hari	65,52%

Sumber: Hasil analisis, 2026

Tabel 3 memperlihatkan bahwa beton bertulang 60x40 cm menghasilkan efisiensi biaya terbesar, yaitu 50,09%. Penghematan tersebut terjadi karena dimensi penampang, tebal dinding, dan kebutuhan tulangan lebih kecil dibanding desain awal, sementara fungsi hidrolis dan struktur masih terpenuhi. Namun, durasi pelaksanaannya masih 35 hari karena pekerjaan tetap memerlukan bekisting, pembesian, pengecoran, dan perawatan beton.

Pasangan batu kali memberikan efisiensi biaya 45,91% dengan durasi 45 hari. Alternatif ini layak secara stabilitas dan menggunakan material yang relatif mudah diperoleh, tetapi tingkat mutu sangat bergantung pada kualitas pasangan serta keterampilan pelaksana. Permukaan saluran juga lebih kasar dibanding beton pracetak sehingga potensi kehilangan energi aliran dan kebutuhan pemeliharaan tetap perlu diperhatikan.

U-Ditch pracetak memberikan efisiensi biaya 38,73%, lebih kecil dibanding dua alternatif lain, tetapi menghasilkan durasi paling singkat, yaitu 30 hari. Efisiensi waktu 65,52% menunjukkan bahwa penggunaan elemen pracetak mampu memindahkan sebagian pekerjaan dari lapangan ke proses produksi. Temuan ini sejalan dengan Abdelhamid (2019) dan Anggraini dan Melloukey (2023) yang menekankan bahwa sistem pracetak dapat mempercepat pekerjaan karena aktivitas bekisting, pengecoran, dan *curing* di lokasi menjadi jauh lebih sedikit.

Rekomendasi Alternatif Terpilih

Dalam konsep *Value Engineering*, alternatif terpilih adalah alternatif yang memberikan nilai terbaik, bukan semata-mata biaya terendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton bertulang 60x40 cm memang menghasilkan penghematan biaya terbesar, tetapi *U-Ditch* pracetak 60x40 cm memberikan keseimbangan yang lebih baik antara biaya, waktu, dan mutu. Pada proyek irigasi sawah, durasi pekerjaan menjadi parameter kritis karena keterlambatan rehabilitasi dapat mengganggu jadwal tanam dan distribusi air.

U-Ditch pracetak direkomendasikan sebagai alternatif paling optimal karena menawarkan tiga keunggulan utama. Pertama, mutu konstruksi lebih terkendali melalui proses fabrikasi sehingga variasi dimensi dan mutu beton dapat dikurangi. Kedua, waktu pemasangan lebih singkat sehingga gangguan terhadap aktivitas pertanian dapat diminimalkan. Ketiga, meskipun biaya totalnya lebih tinggi dibanding beton bertulang 60x40 cm dan pasangan batu kali, alternatif ini tetap menghemat Rp221.897.999 dari desain awal. Dengan biaya per meter sekitar Rp780.032,59, sisa efisiensi tersebut berpotensi menambah panjang pekerjaan lining sekitar 285 m apabila kondisi teknis dan kebutuhan lapangan mendukung.

Pemilihan *U-Ditch* pracetak juga konsisten dengan arah penerapan *Value Engineering* pada proyek infrastruktur yang menekankan keseimbangan fungsi, biaya, dan manfaat. El-Nashar dan Elyamany (2023) menunjukkan bahwa pendekatan rekayasa nilai pada sistem irigasi dapat membantu adaptasi terhadap keterbatasan sumber daya melalui pemilihan strategi teknis yang lebih rasional. Sementara itu, Youssef et al. (2023), Iswanto dan Indryani (2023), serta Ibnu et al. (2024) menunjukkan bahwa rekayasa nilai pada konstruksi mampu menghasilkan alternatif yang efisien tanpa menghilangkan fungsi utama bangunan.

Dengan demikian, hasil kajian memperlihatkan bahwa penghematan biaya perlu dibaca bersama dengan risiko mutu dan konsekuensi waktu. Pada saluran irigasi yang langsung berkaitan dengan masa tanam, percepatan 57 hari menjadi manfaat yang bernilai tinggi. Oleh karena itu, rekomendasi *U-Ditch* pracetak tidak didasarkan pada biaya terendah, melainkan

pada nilai total proyek yang mencakup mutu terkontrol, waktu tercepat, dan manfaat pelayanan air yang lebih cepat dirasakan petani.

KESIMPULAN

Perencanaan awal saluran beton bertulang 60x60 cm pada objek kajian memiliki biaya Rp572.912.666 dan durasi 87 hari. Nilai tersebut masih dapat dioptimalkan melalui pendekatan *Value Engineering* karena fungsi dasar saluran dapat dipenuhi oleh beberapa alternatif desain yang lebih efisien. Alternatif beton bertulang 60x40 cm memberikan efisiensi biaya terbesar sebesar 50,09% dengan durasi 35 hari. Alternatif pasangan batu kali memberikan efisiensi biaya 45,91% dengan durasi 45 hari. Alternatif *U-Ditch* pracetak 60x40 cm memberikan efisiensi biaya 38,73% dengan durasi tercepat 30 hari atau efisiensi waktu 65,52%. Alternatif *U-Ditch* pracetak 60x40 cm direkomendasikan sebagai alternatif paling optimal karena menghasilkan nilai proyek yang paling seimbang. Alternatif ini tetap memberikan penghematan biaya, mempercepat pelaksanaan secara signifikan, dan memiliki mutu yang lebih mudah dikendalikan melalui proses fabrikasi. Penerapan *Value Engineering* pada tahap perencanaan bangunan irigasi sawah terbukti dapat meningkatkan nilai proyek tanpa mengurangi fungsi utama saluran. Penelitian berikutnya disarankan memasukkan analisis biaya siklus hidup, kebutuhan operasi dan pemeliharaan, serta pemantauan lapangan setelah saluran digunakan agar rekomendasi teknis semakin kuat.

REFERENSI

- Abdelhamid, T. S. (2019). *Time and cost comparison between precast and conventional construction system*. ResearchGate.
- Anggraini, K. N., & Melloukey, A. (2023). *Analisis perbandingan rencana anggaran biaya saluran irigasi metode precast dan metode konvensional*. Universitas Medan Area.
- Ashour, M. A., Mohamed, H. I., Abdou, A. A., & Abu-Zaid, T. S. (2024). New approach for the rehabilitation of irrigation canals based on implementation priority. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(8), 102831.
- Chen, W. T., Merrett, H. C., Liu, S.-S., Fauzia, N., & Liem, F. N. (2022). A decade of value engineering in construction projects. *Advances in Civil Engineering*, 2022, Article 2324277. <https://doi.org/10.1155/2022/2324277>
- Dell'Isola, A. J. (1997). *Value engineering: Practical applications for design, construction, maintenance & operations*. R.S. Means Company.
- El-Nashar, W., & Elyamany, A. (2023). Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: A value engineering approach. *Water Resources Management*, 37(6), 2369–2386.
- Elmousalami, H., Elshaboury, N., & Elyamany, A. H. (2024). Green artificial intelligence for cost-duration variance prediction (CDVP) for irrigation canals rehabilitation projects. *Expert Systems with Applications*, 249, 123789. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123789>
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The state of food and agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. FAO.
- Gaikwad, S. V., Calahorra-Jimenez, M., Molenaar, K. R., & Torres-Machi, C. (2021). Challenges in engineering estimates for best value design-build highway projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(7), 04021062. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002104](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002104)

- García-Mollá, M., Puertas, R., & Sanchis-Ibor, C. (2021). Application of data envelopment analysis to evaluate investments in the modernization of collective management irrigation systems in Valencia (Spain). *Water Resources Management*, 35, 5011–5027. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02986-1>
- Ibnu, K., Wateno, O., & Risma, M. (2024). Analisis value engineering pekerjaan rehabilitasi saluran drainase Kecamatan Samarinda Ulu. *Jurnal Teknik*, 16(2), 105–112.
- Ismaeil, E. M. (2024). Sustainability-based value engineering management as an integrated approach to construction projects. *Buildings*, 14(4), 903.
- Iswanto, R. A., & Indryani, R. (2023). Penerapan rekayasa nilai (*value engineering*) pada pembangunan proyek gedung Kantor BKD Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), C13–C20.
- Karim, D., Nasution, A., & Ashad, H. (2023). Rekayasa nilai pada bangunan auditorium gedung penunjang akademik Politeknik Ilmu Pelayaran Salodong Makassar. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(3), 6422–6430.
- Kazemi, M., Tokaldani, E. A., Jha, M. K., & Rudra, R. (2025). A 3D irrigation canal alignment optimization model for a steep-sloping area with rectangular inclined drops. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 5(1), 30–43. <https://doi.org/10.47852/bonviewJCCE52024527>
- Li, X., Singh, V. P., & Kumar, A. (2022). Genetic algorithm based model for optimal selection of open channel design parameters. *Water Resources Management*, 36, 5867–5896. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03323-w>
- Li, X., Wang, C., & Alashwal, A. (2021). Case study on BIM and value engineering integration for construction cost control. *Advances in Civil Engineering*, 2021, Article 8849303. <https://doi.org/10.1155/2021/8849303>
- Republik Indonesia. (2012). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan*. Sekretariat Negara.
- Shanono, N. J., & Nasidi, N. M. (2022). Application of value engineering to identify and solve irrigation water allocation problems. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(2), 460–474.
- Youssef, M., AlDeep, S. M. H., & Olwan, M. M. (2023). Value engineering: Case study of Libyan educational buildings. *Alexandria Engineering Journal*, 76, 735–746.
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, H., et al. (2024). Multi-objective modeling and optimization of water distribution for canal system considering irrigation coverage in artesian irrigation district. *Agricultural Water Management*, 301, 108959. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108959>
- Zhou, K., Fan, Y., Gao, Z., Chen, H., & Kang, Y. (2025). Research progress on operation control and optimal scheduling of irrigation canal systems. *Irrigation and Drainage*, 74(2), 861–879. <https://doi.org/10.1002/ird.3028>