

Model Penataan Adaptif Kampung Nelayan Tambakrejo pada Lahan Bekas Sungai di Kota Semarang

Bagus Irawan^{1*}, Rosita Herawati^{2*}

^{1,2}Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, Indonesia, Jl. Pawiyatan Luhur Sel. IV No.1, Bendan Duwur, Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang, Jawa Tengah 50234

Jurnal Riptek

Volume 20 No. 1 (13 – 26)

Tersedia online di:

<http://ripteك.semarangkota.go.id>

Info Artikel:

Diterima: 08 Juli 2026

Diterima: 08 Juli 2026

Disetujui: 22 Juli 2026

Tersedia online: 31 Juli 2026

Kata Kunci:

adaptive waterfront settlement; collaborative governance; coastal relocation; geotechnical engineering; soft soil

Korespondensi penulis:

*bagusirawan.mt@gmail.com.

Abstract. The redevelopment of Tambakrejo Fishermen Settlement in Semarang City was part of the East Flood Canal normalization program, which required the relocation of 97 fishermen households from riverbank areas to a new settlement developed on the former Kali Banger riverbed. This study aims to analyze the integration of geotechnical engineering, adaptive waterfront settlement, and collaborative governance in the development of a sustainable coastal relocation area. A mixed-method case study approach was employed through the analysis of technical documents, engineering reports, planning records, and policy-related documents. The results indicate that the relocation site was characterized by soft soil and active mud deposits with an estimated natural consolidation period of 67.225 years and a settlement rate of 5.74 cm/year, exceeding the allowable limit for residential infrastructure. A hybrid reinforcement system consisting of Polyfelt PEC-50 geotextile and bamboo piles successfully reduced incremental settlement to 0.4–0.5 cm/year and increased the safety factor to 1.47–1.48, exceeding the minimum design requirement of 1.4. The redevelopment concept integrated fishermen housing, green open spaces, drainage systems, boat docking facilities, and public infrastructure to support environmental quality and livelihood sustainability. This study proposes an integrated model of sustainable coastal relocation that combines adaptive geotechnical engineering, waterfront settlement planning, collaborative governance, and livelihood sustainability. The findings demonstrate that successful coastal relocation requires not only technical feasibility but also social acceptance and institutional collaboration to achieve safe, adaptive, and sustainable coastal settlements.

Cara mengutip:

Irawan, B. & Herawati, R. (2026). Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo Pada Lahan Bekas Sungai di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 20(1), 13–26. <https://ripteك.semarangkota.go.id>

Pendahuluan

Pemerintah Kota Semarang menghadapi tantangan penyediaan hunian bagi 97 kepala keluarga (KK) nelayan yang harus direlokasi akibat program normalisasi Banjir Kanal Timur (BKT), salah satu program strategis pengendalian banjir kawasan pesisir utara Kota Semarang (Sidiq et al., 2022). Permasalahan utama muncul karena lokasi relokasi yang dapat diterima masyarakat berada pada lahan eks Kali Banger yang didominasi tanah lunak dan lumpur aktif dengan daya dukung rendah serta kompresibilitas tinggi (Masvika et al., 2018). Hasil kajian teknis menunjukkan bahwa lahan tersebut memiliki waktu konsolidasi alami hingga 67,225 tahun dan laju penurunan tanah sekitar 5,74 cm/tahun tanpa perkuatan, sehingga tidak memenuhi persyaratan pembangunan permukiman (DPU Kota Semarang, 2020). Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan penurunan diferensial (differential settlement), kerusakan bangunan dan infrastruktur, serta meningkatkan risiko kegagalan fungsi kawasan apabila pembangunan dilakukan tanpa rekayasa perkuatan tanah yang memadai.

Normalisasi BKT berdampak pada relokasi masyarakat nelayan di RT 05 RW 16 Kelurahan Tanjungmas, Kecamatan Semarang Utara. Pada awalnya masyarakat menolak relokasi ke rumah susun karena dianggap jauh dari aktivitas melaut. Penolakan tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek hunian, tetapi juga mencerminkan kekhawatiran masyarakat terhadap keberlanjutan mata pencaharian, akses menuju lokasi

tambatan perahu, serta potensi penurunan pendapatan apabila lokasi relokasi berada jauh dari kawasan pesisir. Setelah melalui proses mediasi yang difasilitasi Komnas HAM dan berbagai pihak terkait, disepakati bahwa relokasi dilakukan pada lahan eks Kali Banger yang berlokasi dekat dengan kawasan asal masyarakat nelayan (DPU Kota Semarang, 2020).

Proses penyelesaian relokasi juga memperoleh perhatian Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. Dalam beberapa forum koordinasi, Gubernur Jawa Tengah turut mendorong percepatan penyelesaian relokasi guna mendukung keberhasilan program normalisasi Banjir Kanal Timur sekaligus memastikan keberlanjutan kehidupan masyarakat nelayan terdampak. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan kawasan relokasi tidak hanya merupakan persoalan teknis, tetapi juga melibatkan dimensi sosial, politik, dan kelembagaan yang kompleks.

Penataan kawasan permukiman pada lahan dengan tingkat kerentanan tinggi memerlukan pendekatan yang tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis geoteknik, tetapi juga aspek keberlanjutan, mitigasi risiko, dan tata kelola kolaboratif. Pendekatan tersebut sejalan dengan berbagai kajian di Kota Semarang yang menekankan pentingnya penataan kawasan berbasis karakteristik wilayah serta penerapan inovasi dan kolaborasi multipihak untuk mendukung pembangunan perkotaan yang berkelanjutan (Mardiansjah et al., 2024; Santoso et al., 2024).

Pemilihan lokasi tersebut menimbulkan tantangan keinsinyuran yang kompleks. Di satu sisi, kebutuhan relokasi harus segera dipenuhi untuk mendukung program normalisasi BKT. Di sisi lain, kondisi geoteknik lahan menunjukkan keterbatasan yang signifikan bagi pembangunan kawasan permukiman. Dalam kondisi tersebut, rekayasa geoteknik menjadi faktor kunci untuk menjamin keamanan dan keberlanjutan kawasan melalui penerapan solusi teknis yang dapat dipertanggungjawabkan (Kartawiria et al., 2025).

Pemerintah Kota Semarang merencanakan kawasan relokasi berupa rumah deret nelayan, ruang terbuka hijau (RTH), fasilitas umum, tambatan perahu, serta jalur tepi air sebagai bagian dari pengembangan permukiman tepi air (*waterfront settlement*) yang adaptif dan berkelanjutan (DPU Kota Semarang, 2020). Selain menghadapi tantangan geoteknik, pembangunan kawasan juga melibatkan aspek kelembagaan karena lahan berada pada ruang pengelolaan sumber daya air yang memerlukan rekomendasi teknis dan mekanisme pemanfaatan lahan sesuai ketentuan yang berlaku. Oleh karena itu, tata kelola kolaboratif menjadi elemen penting dalam mendukung keberhasilan pembangunan kawasan (Astuti et al., 2023).

Status lahan eks Kali Banger sebagai bagian dari ruang pengelolaan sumber daya air menambah kompleksitas proses pembangunan kawasan. Pemanfaatan lahan tersebut memerlukan koordinasi lintas kewenangan, rekomendasi teknis dari BBWS Pemali Juana, serta mekanisme pemanfaatan aset negara yang harus tetap menjamin fungsi pengendalian banjir dan konservasi sumber daya air. Oleh karena itu, keberhasilan pembangunan kawasan sangat dipengaruhi oleh kemampuan para pemangku kepentingan dalam mengintegrasikan aspek teknis, regulasi, dan kelembagaan secara simultan.

Gambar 1 menunjukkan Kondisi eksisting lahan eks Kali Banger sebelum dilakukan penataan kawasan.



Gambar 1. Kondisi Eksisting Lahan Bekas Kali Banger Sebelum Penataan Kawasan

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada perkuatan tanah lunak dan stabilitas geoteknik kawasan pesisir (Wu et al., 2020), sedangkan penelitian lain lebih menekankan aspek sosial relokasi masyarakat pesisir dan penerimaan masyarakat terhadap program relokasi (Astuti et al., 2023). Namun, penelitian yang mengintegrasikan rekayasa geoteknik, penataan

permukiman tepi air, dan tata kelola kolaboratif dalam satu kerangka pembangunan kawasan relokasi pada lahan bekas sungai masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan integratif yang menggabungkan rekayasa geoteknik adaptif, pengembangan *waterfront settlement*, dan *collaborative governance* dalam pembangunan kawasan relokasi pesisir.

Untuk memperjelas posisi penelitian ini terhadap penelitian sebelumnya, dilakukan komparasi terhadap beberapa penelitian yang relevan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komparasi Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Penelitian	Fokus	Keterbatasan	Kontribusi Penelitian Ini
Wu et al. (2020)	Rekayasa tanah lunak	Belum mengkaji aspek sosial dan tata kelola	Mengintegrasikan rekayasa geoteknik, <i>waterfront settlement</i> , dan <i>collaborative governance</i>
Astuti et al. (2023)	Relokasi masyarakat nelayan	Belum membahas rekayasa geoteknik	Mengembangkan model penataan kawasan pada lahan bekas sungai
Latief & Wijaya (2025)	Pemberdayaan masyarakat pesisir	Belum mengintegrasikan aspek teknis pembangunan	Menawarkan pendekatan multidisiplin untuk penataan kawasan pesisir

Sumber: Analisis Penulis

Pendekatan tersebut sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2014 tentang Keinsinyuran yang menegaskan bahwa penyelenggaraan praktik keinsinyuran harus mengutamakan keselamatan, kesehatan, keamanan, kemanfaatan, dan kesejahteraan masyarakat serta kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, keberhasilan penataan kawasan Tambakrejo tidak hanya diukur dari keberhasilan konstruksi secara teknis, tetapi juga dari kemampuannya memberikan manfaat sosial dan lingkungan secara berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan menganalisis penataan Kampung Nelayan Tambakrejo melalui perspektif rekayasa geoteknik, pengembangan permukiman tepi air, dan tata kelola kolaboratif. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya dalam merencanakan kawasan relokasi pesisir yang aman secara teknis, diterima secara sosial, dan berkelanjutan secara lingkungan.

Metodologi

Penelitian menggunakan pendekatan studi kasus dengan metode campuran (*mixed-method case study*) yang mengintegrasikan analisis geoteknik kuantitatif dan analisis tata kelola pembangunan secara kualitatif. Pendekatan ini dipilih karena permasalahan penelitian mencakup aspek teknis geoteknik, tata kelola pembangunan, serta keberlanjutan sosial-ekonomi masyarakat nelayan yang memerlukan analisis secara terpadu.

Pendekatan *mixed-method case study* dipilih karena mampu mengintegrasikan analisis kuantitatif dan kualitatif dalam menjelaskan permasalahan pembangunan kawasan yang bersifat kompleks. Pendekatan ini telah banyak digunakan pada penelitian mengenai pengembangan kawasan pesisir, relokasi permukiman, dan pembangunan berbasis *collaborative governance*, karena memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap aspek teknis, sosial, dan kelembagaan secara terpadu (Yin, 2018; Creswell & Plano Clark, 2018). Oleh karena itu, metode ini dinilai sesuai untuk menganalisis penataan Kampung Nelayan Tambakrejo yang melibatkan rekayasa geoteknik, penataan kawasan, dan koordinasi multipihak dalam satu kerangka penelitian.

Melalui pendekatan tersebut, penelitian tidak hanya mendeskripsikan kondisi eksisting kawasan, tetapi juga menyusun model penataan kawasan pada lahan bekas sungai yang mengintegrasikan aspek rekayasa geoteknik, pengembangan *waterfront settlement*, dan *collaborative governance*. Dengan demikian, metode yang digunakan dirancang untuk menjawab *research gap* yang telah diidentifikasi pada bagian pendahuluan sekaligus menghasilkan model penataan yang dapat menjadi referensi bagi pengembangan kawasan pesisir dengan karakteristik serupa.

Lokasi penelitian berada di Kampung Nelayan Tambakrejo, Kelurahan Tanjungmas, Kecamatan Semarang Utara, Kota Semarang. Kawasan ini merupakan lokasi relokasi masyarakat terdampak normalisasi Banjir Kanal Timur (BKT) yang memanfaatkan lahan eks Kali Banger sebagai kawasan permukiman baru nelayan (DPU Kota Semarang, 2020).

Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis teknis kawasan, analisis tata kelola pembangunan, analisis keberlanjutan kawasan, dan sintesis hasil penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Tahapan Penelitian Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo

Analisis numeris dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis berbasis metode elemen hingga (*finite element*

method/FEM) untuk mengevaluasi perilaku konsolidasi, penurunan tanah (*settlement*), dan stabilitas kawasan pada kondisi tanah lunak. Simulasi membandingkan dua alternatif sistem perkuatan, yaitu geotekstil Polyfelt PEC-50 tunggal dan kombinasi geotekstil Polyfelt PEC-50 dengan cerucuk bambu. Parameter evaluasi meliputi besar penurunan tanah, laju penurunan inkremental tahunan, dan faktor keamanan (*safety factor*) yang dibandingkan dengan kriteria SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

Sumber data terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari dokumen teknis dan administrasi proyek, meliputi rekomendasi teknis pemanfaatan sumber daya air, spesifikasi teknis pembangunan, rencana induk kawasan, notulen rapat koordinasi, dan dokumen perencanaan kawasan. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi lahan, sistem perkuatan tanah, konsep penataan kawasan, dan koordinasi lintas instansi (DPU Kota Semarang, 2020; Pemerintah Kota Semarang, 2020).

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur dari jurnal ilmiah, regulasi pemerintah, dan standar geoteknik tanah lunak untuk memperkuat analisis terkait relokasi masyarakat pesisir, tata kelola kolaboratif, permukiman tepi air, dan teknologi perkuatan tanah lunak (Wu et al., 2020).

Validitas data dilakukan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan dokumen teknis, dokumen perencanaan, notulen rapat koordinasi, regulasi terkait, dan hasil kajian ilmiah yang relevan. Pendekatan ini digunakan untuk meningkatkan konsistensi dan kredibilitas hasil analisis.

Sumber data dan tahapan analisis penelitian disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Sumber Data dan Fungsi Analisis

Jenis Data	Sumber	Fungsi Analisis
Data Primer	Dokumen teknis dan administrasi proyek (spesifikasi teknis, rekomendasi teknis, rencana induk, notulen rapat)	Analisis kondisi lahan, sistem perkuatan tanah, konsep kawasan, dan koordinasi instansi
Data Sekunder	Jurnal ilmiah, regulasi pemerintah, dan standar geoteknik tanah lunak	Penguatan analisis permukiman tepi air, tanah lunak, dan tata kelola kolaboratif

Sumber: Analisis Penulis (2026)

Tabel 3. Tahapan Analisis Penelitian

Tahap	Fokus Analisis	Output
Analisis Geoteknik	Settlement, konsolidasi, <i>safety factor</i>	Kelayakan teknis lahan
Analisis Kawasan	Infrastruktur, hunian, RTH	Konsep penataan kawasan
Analisis Governance	Koordinasi instansi, legalitas	Model tata kelola
Analisis Keberlanjutan	Sosial, ekonomi, lingkungan	Implikasi pembangunan berkelanjutan

Sumber: Analisis Penulis (2026)

Metode Analisis

Analisis penelitian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu analisis teknis kawasan, analisis tata kelola pembangunan, dan analisis keberlanjutan kawasan.

Analisis teknis digunakan untuk mengevaluasi penanganan tanah lunak, stabilitas kawasan, dan konsep pengembangan Kampung Nelayan Tambakrejo. Analisis tata kelola dilakukan untuk mengidentifikasi pola koordinasi lintas instansi, legalitas pemanfaatan lahan eks Kali Banger, rekomendasi teknis penggunaan sumber daya air, serta keterlibatan masyarakat dalam proses relokasi. Analisis ini menggunakan pendekatan tata kelola kolaboratif untuk memahami hubungan antara aspek teknis pembangunan dan proses pengambilan keputusan lintas sektor (Astuti et al., 2023).

Analisis keberlanjutan kawasan dilakukan secara kualitatif untuk mengevaluasi keterkaitan antara pembangunan fisik kawasan dengan keberlanjutan sosial-ekonomi masyarakat nelayan. Analisis mencakup aspek mata pencaharian masyarakat, ruang terbuka hijau, sistem drainase, fasilitas sosial-ekonomi, dan pengembangan kawasan bahari sebagai bagian dari pembangunan permukiman tepi air yang adaptif dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Penyajian hasil penelitian disusun mengikuti tahapan penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Pembahasan diawali dengan identifikasi kronologi dan kondisi eksisting kawasan, dilanjutkan dengan analisis rekayasa penanganan tanah lunak, pengembangan konsep penataan kawasan, evaluasi kolaborasi lintas instansi, serta diakhiri dengan pembahasan implikasi terhadap pembangunan kawasan pesisir berkelanjutan. Penyusunan tersebut dimaksudkan agar hubungan antara tahapan metodologi dan hasil penelitian dapat dipahami secara sistematis.

Stratifikasi Tanah dan Hasil Pengujian Sondir

Investigasi tanah pada lokasi eks Kali Banger dilakukan menggunakan uji sondir (*Cone Penetration Test/CPT*) hingga kedalaman $-26,80$ m. Berdasarkan nilai tahanan konus (q_c), lapisan hingga kedalaman -20 m diklasifikasikan sebagai lempung sangat lunak ($q_c = 0-10$ kg/cm²; $c_u = 0-12,5$ kPa; $N-SPT < 2,5$), sedangkan lapisan di bawahnya merupakan lempung lunak ($q_c = 10-20$ kg/cm²; $c_u = 12,5-25$ kPa). Klasifikasi mengacu pada korelasi $N-SPT$ dan konsistensi tanah dominan lanau-lempung (DPU Kota Semarang, 2020). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lahan eks sungai memiliki daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi sehingga tidak memenuhi persyaratan pembangunan permukiman tanpa perkuatan tanah.

Perhitungan Konsolidasi Alamiah

Analisis konsolidasi dilakukan menggunakan parameter tanah hasil investigasi lapangan yang meliputi tebal lapisan kompresibel, berat volume tanah jenuh, indeks kompresi, angka pori awal, beban timbunan, dan koefisien konsolidasi vertikal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tanah eks Kali Banger mengalami pemampatan konsolidasi sebesar $3,86$ m dengan waktu

konsolidasi alami sekitar $67,225$ tahun dan laju penurunan tanah sebesar $5,74$ cm/tahun. Ringkasan parameter dan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Tanah dan Hasil Perhitungan Konsolidasi Alamiah

Parameter	Nilai	Satuan
Tebal lapisan kompresibel (H)	20	m
Berat volume tanah jenuh (γ_{sat})	1,5	t/m ³
Indeks kompresi (C_c)	0,4	-
Angka pori awal (e_0)	1,4	-
Beban timbunan (Δp)	4,54	t/m ²
Tegangan overburden efektif (p_0')	5,0	t/m ²
Koefisien konsolidasi vertikal (C_v)	0,0004	cm ² /dtk
Faktor waktu T_{v90} ($U=90\%$)	0,848	-
Pemampatan konsolidasi (S_c)	3,86	m
Waktu konsolidasi alami (t_{90})	67,225	tahun
Laju penurunan tanah alami	5,74	cm/tahun

Sumber: DPU Kota Semarang (2020, dokumen rekomendasi teknis).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanpa perkuatan, laju penurunan tanah jauh melampaui batas aman konstruksi yang direkomendasikan dalam SNI 8460:2017 sehingga kawasan tidak layak dikembangkan sebagai permukiman tanpa intervensi rekayasa geoteknik. Waktu konsolidasi alami yang sangat panjang menunjukkan bahwa dominasi lapisan lempung lunak dengan permeabilitas rendah menyebabkan tanah tidak mampu mencapai stabilitas yang memadai dalam jangka waktu pembangunan yang dibutuhkan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian pada kawasan pesisir dan lahan reklamasi yang menunjukkan bahwa tanah lunak dengan kandungan lempung tinggi umumnya memiliki kompresibilitas besar dan waktu konsolidasi yang panjang sehingga memerlukan sistem perkuatan atau perbaikan tanah sebelum dimanfaatkan untuk pembangunan infrastruktur (Wu et al., 2020). Namun demikian, kondisi Tambakrejo memiliki tantangan yang lebih kompleks karena kebutuhan pembangunan kawasan relokasi harus dilakukan dalam waktu relatif singkat untuk mendukung program normalisasi Banjir Kanal Timur.

Oleh karena itu, diperlukan sistem perkuatan tanah yang mampu meningkatkan stabilitas kawasan sekaligus menekan laju penurunan tanah hingga berada pada batas aman konstruksi. Evaluasi sistem perkuatan yang diterapkan pada kawasan Tambakrejo dibahas pada bagian berikutnya.

Kondisi Eksisting dan Tantangan Lahan Bekas Sungai

Kawasan Kampung Nelayan Tambakrejo berada pada lahan eks Kali Banger di wilayah pesisir utara Kota Semarang yang didominasi tanah lunak dan lumpur aktif hasil sedimentasi pesisir. Kondisi tersebut menyebabkan daya dukung tanah rendah, kompresibilitas tinggi, dan potensi penurunan tanah yang signifikan apabila menerima beban konstruksi (Masvika et al., 2018).

Hasil analisis menunjukkan bahwa tanpa perkuatan tanah, kawasan memiliki waktu konsolidasi alami sekitar $67,225$ tahun dengan laju penurunan tanah $5,74$ cm/tahun, sehingga berdasarkan evaluasi teknis yang mengacu pada SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan

Geoteknik, diperlukan upaya perbaikan tanah sebelum kawasan dapat dikembangkan sebagai permukiman (DPU Kota Semarang, 2020). Oleh karena itu, evaluasi daya dukung, deformasi (*settlement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) kawasan dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip perancangan geoteknik yang mengacu pada standar tersebut. Dalam penelitian ini, SNI 8460:2017 digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kelayakan geoteknik melalui parameter deformasi (*settlement*) dan faktor keamanan (*safety factor*). Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, kondisi tanah tanpa perkuatan dikategorikan belum memenuhi persyaratan teknis untuk pembangunan permukiman karena masih berpotensi mengalami penurunan tanah yang dapat memengaruhi kestabilan bangunan dan infrastruktur. Sebaliknya, penerapan sistem perkuatan menunjukkan peningkatan faktor keamanan serta penurunan laju penurunan tanah sehingga kondisi kawasan menjadi lebih layak untuk dikembangkan.

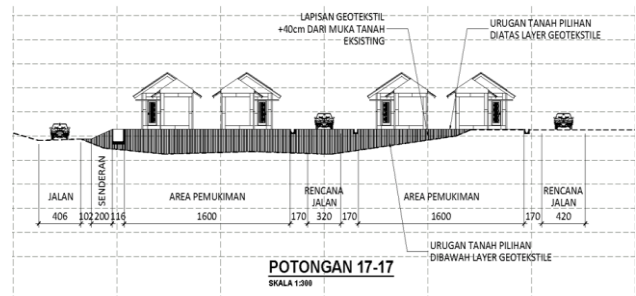
Tantangan pembangunan kawasan tidak hanya berasal dari kondisi geoteknik, tetapi juga dari karakteristik lingkungan pesisir yang ditandai muka air tanah tinggi, intrusi air laut, dan genangan rob. Oleh karena itu, penanganan kawasan memerlukan kombinasi peningkatan daya dukung tanah, pengendalian drainase, dan adaptasi terhadap risiko banjir pesisir (Rahmawati et al., 2013).

Untuk menjawab tantangan tersebut, Pemerintah Kota Semarang menerapkan sistem perkuatan hibrid menggunakan geotekstil dan cerucuk bambu (DPU Kota Semarang, 2020). Pendekatan ini dinilai sesuai untuk kawasan permukiman nelayan karena relatif adaptif, efisien, dan mudah diterapkan pada kondisi tanah lunak pesisir. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil dan perkuatan bambu mampu meningkatkan daya dukung tanah, mengurangi deformasi, dan meningkatkan stabilitas konstruksi pada kawasan pesisir (Do et al., 2020; Akosah et al., 2022; Tefera et al., 2023).

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai studi yang menunjukkan bahwa sistem perkuatan hibrid mampu meningkatkan stabilitas dan mengurangi deformasi pada tanah lunak kawasan pesisir (Kartawiria et al., 2025). Namun demikian, penelitian ini memperluas temuan sebelumnya melalui penerapan pada kawasan relokasi nelayan perkotaan yang menghadapi tantangan teknis, sosial, dan kelembagaan secara bersamaan.

Dari perspektif K3L, pekerjaan konstruksi pada tanah sangat lunak memiliki risiko berupa amblas pekerja, ketidakstabilan alat berat, dan deformasi area kerja. Risiko tersebut diminimalkan melalui pelaksanaan konstruksi secara bertahap menggunakan cerucuk bambu, lapisan pasir drainase, geotekstil, dan timbunan berlapis sehingga mendukung stabilitas kawasan sekaligus keselamatan kerja (Do et al., 2020).

Konsep sistem perkuatan tanah pada kawasan Tambakrejo ditunjukkan pada Gambar 3.



Skala: 1 : 300

Elemen Perkuatan Utama:

- Lapisan geotekstil ± 40 cm dari muka tanah eksisting.
- Urugan tanah pilihan di atas dan di bawah lapisan geotekstil.
- Perkuatan cerucuk bambu pada tanah lunak.

Gambar 3. Konsep Sistem Perkuatan Tanah pada Kawasan Tambakrejo

Gambar 3 memperlihatkan konsep perkuatan hibrid yang mengombinasikan geotekstil dan cerucuk bambu untuk meningkatkan distribusi beban, mengurangi deformasi diferensial, dan meningkatkan stabilitas kawasan pada tanah lunak bekas sungai. Skenario sistem perkuatan yang diusulkan merupakan hasil sintesis antara analisis kondisi geoteknik kawasan dan karakteristik material yang digunakan. Geotekstil berfungsi meningkatkan stabilitas tanah serta mendistribusikan beban secara lebih merata, sedangkan cerucuk bambu berperan meningkatkan daya dukung tanah lunak dan mengurangi potensi penurunan tanah. Kombinasi kedua elemen tersebut dipilih karena tidak hanya memberikan peningkatan kinerja geoteknik, tetapi juga mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan konstruksi, ketersediaan material lokal, serta efisiensi biaya untuk pengembangan kawasan permukiman pesisir.

Pendekatan FEM dan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method/LEM*) telah banyak digunakan untuk mengevaluasi deformasi dan faktor keamanan konstruksi pada tanah lunak (Fitri & Wahyuni, 2022). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kombinasi pembebanan awal dan drainase vertikal pracetak dapat mempercepat konsolidasi dan meningkatkan stabilitas kawasan pesisir (Fatmawati et al., 2023).

Berbeda dengan sebagian besar penelitian yang berfokus pada stabilitas geoteknik infrastruktur atau tanggul, studi ini menunjukkan bahwa keberhasilan pembangunan kawasan relokasi pesisir tidak hanya ditentukan oleh efektivitas sistem perkuatan tanah, tetapi juga oleh kemampuannya mendukung kebutuhan sosial dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat nelayan.

Secara keseluruhan, kondisi eksisting lahan eks Kali Banger menunjukkan bahwa sistem perkuatan hibrid mampu mengubah lahan yang secara alami tidak layak bangun menjadi kawasan yang memenuhi persyaratan stabilitas konstruksi. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi antara rekayasa geoteknik adaptif dan perencanaan kawasan dalam mendukung pembangunan permukiman pesisir yang aman dan berkelanjutan.

Rekayasa Penanganan Tanah Lunak

Kondisi tanah lunak pada kawasan eks Kali Banger menjadi tantangan utama dalam pembangunan Kampung Nelayan Tambakrejo. Karakteristik tanah dengan daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi memerlukan rekayasa geoteknik yang adaptif agar kawasan permukiman dapat dibangun secara aman dan berkelanjutan. Sistem penanganan tanah lunak dilakukan melalui kombinasi geotekstil Polyfelt PEC-50, cerucuk bambu, dan pemadatan tanah urug (DPU Kota Semarang, 2020).

Evaluasi kinerja sistem perkuatan dilakukan menggunakan pemodelan numeris berbasis finite element method (FEM) dengan parameter tanah dan material yang mengacu pada hasil investigasi geoteknik serta dokumen teknis perencanaan kawasan relokasi Tambakrejo (DPU Kota Semarang, 2020).

Parameter material yang digunakan dalam pemodelan numeris PLAXIS FEM mengacu pada data investigasi geoteknik dan dokumen teknis perencanaan kawasan relokasi Tambakrejo yang disusun oleh DPU Kota Semarang (2020). Ringkasan parameter tanah, geotekstil, dan cerucuk bambu yang digunakan dalam pemodelan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Properties Material dalam Simulasi Numeris Plaxis FEM

Lapisan	Tipe	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{ref} (kN/m ²)	c_u (kN/m ²)	ϕ (°)
Tanah Dasar Lapis 1	Undrained	15,0	5.000	12,0	5,0
Tanah Dasar Lapis 2	Undrained	16,0	10.000	24,0	5,0
Timbunan Pilihan	Undrained	19,0	40.000	40,0	10,0
Lapisan Pasir	Drained	17,0	20.000	10,0	20,0
Geotekstil	—	—	Initial strength: 75 kN/m	Creep: 32,3 kN/m	Regangan: 10%
Cerucuk Bambu	Elastic	—	EA: 21.900 kN/m	EI: 18,2 kNm ² /m	—

Sumber : DPU Kota Semarang (2020, dokumen Teknis)

Salah satu metode utama yang diterapkan adalah pemasangan geotekstil Polyfelt PEC-50 sebagai perkuatan dasar untuk meningkatkan distribusi beban, mengurangi deformasi, dan meningkatkan stabilitas tanah. Sistem ini digunakan sebagai lapisan perkuatan pada pembangunan jalan inspeksi dan kawasan permukiman. Material geotekstil yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Material Geotekstil Polyfelt PEC-50 untuk Perkuatan Tanah Lunak

Selain geotekstil, sistem perkuatan dikombinasikan dengan cerucuk bambu yang berfungsi meningkatkan kekakuan lapisan tanah lunak. Pemanfaatan bambu dipilih karena relatif ekonomis, mudah diperoleh, dan sesuai untuk kondisi tanah pesisir. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa cerucuk bambu efektif meningkatkan stabilitas dan daya dukung tanah lunak, termasuk pada konstruksi jalan dan tanggul di kawasan pesisir (Ahrwar & Mandal, 2021; Yusof et al., 2023; Mokhtar & Low, 2024).

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil tunggal menghasilkan penurunan tanah sekitar 10,1 cm setelah satu tahun dengan laju penurunan lanjutan 0,5 cm/tahun dan faktor keamanan 1,47. Kombinasi geotekstil dan cerucuk bambu memberikan kinerja yang lebih baik dengan penurunan tanah sekitar 9,4 cm setelah satu tahun, laju penurunan 0,4 cm/tahun, dan faktor keamanan 1,48. Perbandingan hasil sistem perkuatan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Penurunan Tanah dan Faktor Keamanan Sistem Perkuatan

Parameter	Geotekstil Tunggal	Geotekstil + Cerucuk Bambu
Penurunan tanah setelah konstruksi	9,6 cm	9,0 cm
Penurunan tanah setelah 1 tahun	10,1 cm	9,4 cm
Pertambahan penurunan tanah tahun ke-2	0,5 cm/tahun	0,4 cm/tahun
Nilai faktor keamanan	1,47	1,48
Standar minimum faktor keamanan	1,4	1,4

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang (2020).

Perbedaan nilai *settlement* dan faktor keamanan menunjukkan bahwa kombinasi geotekstil dan cerucuk bambu lebih efektif dibandingkan penggunaan geotekstil tunggal. Geotekstil berfungsi mendistribusikan beban secara lebih merata, sedangkan cerucuk bambu meningkatkan kekakuan tanah dan mengurangi deformasi diferensial. Kombinasi keduanya menghasilkan stabilitas kawasan yang lebih baik serta laju penurunan tanah yang lebih rendah dalam jangka panjang.

Meskipun nilai *safety factor* antara alternatif geotekstil dan kombinasi geotekstil–cerucuk bambu tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, pemilihan kombinasi geotekstil–cerucuk bambu sebagai skenario yang lebih adaptif tidak hanya didasarkan pada satu parameter tersebut. Keputusan ini mempertimbangkan

berbagai aspek implementasi, yaitu kemampuan menurunkan laju penurunan tanah, efektivitas peningkatan stabilitas tanah lunak, kemudahan pelaksanaan konstruksi, ketersediaan material lokal, serta efisiensi biaya dibandingkan penggunaan sistem perkuatan yang lebih kompleks. Dengan mempertimbangkan aspek teknis dan implementatif secara terpadu, kombinasi geotekstil–cerucuk bambu dinilai sebagai alternatif yang paling sesuai untuk pengembangan kawasan permukiman pada lahan bekas sungai dengan karakteristik geoteknik seperti di Tambakrejo.

Temuan ini sejalan dengan Zheng et al. (2020) yang menunjukkan bahwa sistem perkuatan hibrid mampu meningkatkan daya dukung dan mengurangi deformasi pada tanah lunak. Namun demikian, penelitian ini memperluas temuan sebelumnya karena penerapan sistem perkuatan dilakukan pada kawasan relokasi nelayan perkotaan yang menghadapi tantangan teknis, sosial, ekonomi, dan kelembagaan secara bersamaan.

Pendekatan FEM telah banyak digunakan dalam evaluasi stabilitas dan deformasi konstruksi pada tanah lunak karena mampu memberikan estimasi faktor keamanan yang lebih komprehensif (Derghoum & Meksaouine, 2019). Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa optimasi desain geotekstil dan metode perbaikan tanah dapat meningkatkan kinerja konstruksi pada kawasan bertanah lunak (Mangraviti et al., 2023).

Selain sistem perkuatan, pemadatan tanah urug dilakukan secara bertahap untuk meningkatkan kepadatan timbunan dan menjaga stabilitas permukaan kawasan. Kombinasi geotekstil, cerucuk bambu, dan pemadatan tanah menunjukkan bahwa pendekatan rekayasa geoteknik adaptif dapat menjadi solusi yang efektif dan relatif ekonomis untuk pembangunan permukiman pada lahan bekas sungai dan kawasan pesisir bertanah lunak.

Temuan ini menunjukkan pentingnya penerapan adaptive engineering mindset dalam praktik keinsinyuran. Pada kondisi lahan yang secara alami tidak memenuhi persyaratan pembangunan, insinyur dituntut mampu mengidentifikasi keterbatasan lapangan, mengevaluasi berbagai alternatif solusi, dan memilih pendekatan yang paling sesuai dengan kondisi teknis, ekonomi, lingkungan, dan sosial yang dihadapi. Pendekatan tersebut memungkinkan proses pengambilan keputusan berbasis data dan bukti teknis sehingga menghasilkan solusi yang aman, efektif, dan berkelanjutan.

Profesionalisme keinsinyuran dalam kasus ini tidak hanya diwujudkan melalui kemampuan merancang solusi teknis, tetapi juga melalui kemampuan mengambil keputusan yang bertanggung jawab di tengah berbagai keterbatasan lapangan. Insinyur dituntut memastikan bahwa setiap keputusan teknis tetap memenuhi prinsip keselamatan, kemanfaatan, keberlanjutan, dan perlindungan kepentingan masyarakat meskipun dihadapkan pada tekanan waktu, keterbatasan sumber daya, maupun kompleksitas kelembagaan.

Dari perspektif profesionalisme keinsinyuran, kasus Tambakrejo juga mencerminkan implementasi nilai-nilai Catur Karsa Insinyur, khususnya kemampuan

memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menghasilkan solusi yang bermanfaat bagi masyarakat. Penerapan sistem perkuatan tanah yang disesuaikan dengan karakteristik lokasi menunjukkan bagaimana rekayasa teknik dapat digunakan untuk menjawab tantangan pembangunan sekaligus mendukung keselamatan, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan masyarakat pesisir.

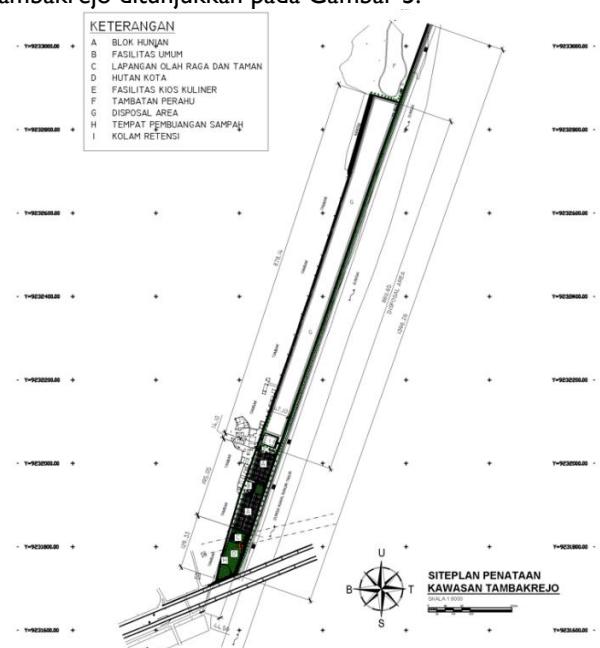
Selain mencerminkan nilai Catur Karsa Insinyur, proses pengambilan keputusan dalam penataan kawasan Tambakrejo juga sejalan dengan prinsip-prinsip Sapta Dharma Insinyur Indonesia, khususnya dalam menjunjung tinggi integritas profesi, mengutamakan keselamatan masyarakat, menjaga kelestarian lingkungan, serta mengabdikan kompetensi keinsinyuran untuk kepentingan bangsa dan kesejahteraan masyarakat.

Konsep Pengembangan Kawasan

Kawasan Kampung Nelayan Tambakrejo dirancang sebagai permukiman tepi air (waterfront settlement) yang mengintegrasikan fungsi hunian, infrastruktur kawasan, ruang publik, dan aktivitas ekonomi masyarakat nelayan. Penataan kawasan tidak hanya berorientasi pada penyediaan rumah relokasi, tetapi juga pada pembentukan lingkungan permukiman yang layak huni, adaptif, dan berkelanjutan (DPU Kota Semarang, 2020).

Pengembangan kawasan meliputi pembangunan hunian nelayan, jalan inspeksi, sistem drainase, ruang terbuka hijau (RTH), fasilitas sosial, serta kawasan bahari yang mendukung aktivitas ekonomi masyarakat pesisir. Pendekatan ini sejalan dengan konsep pembangunan kawasan pesisir berkelanjutan yang mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Rencana induk penataan kawasan Kampung Nelayan Tambakrejo ditunjukkan pada Gambar 5.



Skala gambar 1:6000.

Orientasi utara ditunjukkan pada simbol kompas di bagian bawah gambar.

Gambar 5. Rencana Induk Penataan Kawasan Kampung Nelayan Tambakrejo

Gambar 5 menunjukkan bahwa penataan kawasan tidak hanya berorientasi pada penyediaan hunian relokasi, tetapi juga pada penyediaan ruang terbuka hijau, kolam retensi, fasilitas ekonomi, dan tambatan perahu untuk mendukung keberlanjutan mata pencaharian masyarakat nelayan.

Komponen utama kawasan adalah pembangunan 97 unit rumah deret nelayan sebagai hunian relokasi masyarakat terdampak normalisasi Banjir Kanal Timur. Konsep rumah deret dipilih untuk menyesuaikan keterbatasan lahan sekaligus mempertahankan pola interaksi sosial masyarakat nelayan. Aksesibilitas kawasan didukung oleh jalan inspeksi yang terintegrasi dengan infrastruktur BKT dan disesuaikan dengan elevasi rencana BBWS Pemali Juana untuk mengurangi risiko genangan dan rob (DPU Kota Semarang, 2020).

Sistem drainase dan kolam retensi dikembangkan untuk mengendalikan limpasan air hujan dan meningkatkan ketahanan kawasan terhadap banjir, sedangkan RTH seluas $\pm 15.500 \text{ m}^2$ berfungsi sebagai area resapan, ruang interaksi sosial, dan pendukung kualitas lingkungan kawasan (Sidiq et al., 2022). Selain itu, kawasan dilengkapi tambatan perahu, mushola, balai warga, kios kuliner, dan fasilitas pengelolaan sampah domestik untuk mendukung aktivitas sosial-ekonomi masyarakat pesisir.

Rencana pemanfaatan lahan kawasan Tambakrejo disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rencana Pemanfaatan Lahan Kawasan Tambakrejo

Fungsi Kawasan	Pemanfaatan
Hunian	Rumah deret nelayan 97 unit
Infrastruktur kawasan	Jalan inspeksi, drainase, dan jaringan utilitas
Ruang terbuka hijau	Taman kawasan dan jalur hijau ($\pm 15.500 \text{ m}^2$)
Fasilitas sosial	Mushola dan balai warga
Fasilitas ekonomi	Kios kuliner dan kawasan wisata bahari

Sumber: Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Semarang (2020)

Komposisi pemanfaatan lahan menunjukkan bahwa pengembangan kawasan tidak hanya difokuskan pada penyediaan hunian, tetapi juga pada penyediaan infrastruktur pendukung, ruang terbuka hijau, fasilitas sosial, dan fasilitas ekonomi. Pendekatan ini sejalan dengan konsep waterfront settlement yang menekankan integrasi antara fungsi hunian, aktivitas ekonomi lokal, ruang publik, dan kualitas lingkungan sebagai satu kesatuan sistem kawasan.

Berbeda dengan pendekatan relokasi konvensional yang berorientasi pada penyediaan hunian pengganti, konsep pengembangan Tambakrejo dirancang untuk mempertahankan keterkaitan antara tempat tinggal, aktivitas perikanan, dan ruang sosial masyarakat nelayan. Dengan demikian, keberhasilan relokasi tidak hanya diukur dari tersedianya rumah baru, tetapi juga dari keberlanjutan mata pencaharian dan sistem kehidupan masyarakat yang direlokasi.

Temuan ini menunjukkan bahwa pembangunan kawasan relokasi pesisir yang berkelanjutan memerlukan integrasi antara rekayasa teknis, penataan ruang,

perlindungan lingkungan, dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat. Pendekatan tersebut berpotensi direplikasi pada kawasan pesisir lain yang menghadapi kebutuhan relokasi akibat normalisasi sungai, penataan kawasan pesisir, maupun adaptasi terhadap perubahan iklim dan kenaikan muka air laut.

Kolaborasi Lintas Instansi dalam Penataan Kawasan

Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo melibatkan berbagai instansi pemerintah, lembaga teknis, dan masyarakat terdampak. Kompleksitas permasalahan yang mencakup normalisasi sungai, relokasi permukiman, pemanfaatan lahan eks sungai, dan pembangunan infrastruktur kawasan menyebabkan proses penataan memerlukan pendekatan kolaboratif lintas instansi. Peran para pemangku kepentingan utama ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Peran Instansi dalam Penataan Kawasan Tambak

Instansi/Pihak	Peran Utama
DISPERKIM Kota Semarang	Pembangunan kawasan permukiman dan penyediaan hunian relokasi
BBWS Pemali Juana	Normalisasi BKT, rekomendasi teknis, dan sinkronisasi infrastruktur kawasan
Dinas PU Kota Semarang	Perencanaan dan pembangunan infrastruktur jalan lingkungan, sistem drainase, dan kolam retensi kawasan
PLN	Infrastruktur jaringan listrik kawasan
Pemerintah Provinsi Jawa Tengah	Koordinasi lintas kewenangan dan percepatan penyelesaian konflik relokasi
Komnas HAM	Pemantauan pendekatan relokasi berbasis hak asasi manusia; meminimalkan konflik sosial
Masyarakat Nelayan	Partisipasi dalam musyawarah dan penyesuaian konsep kawasan

Sumber : Penulis (2026)

Telaah Literatur Klaster 2: Transformasi Budaya Organisasi Publik dan Kewirausahaan Digital Kota Semarang

Tabel 8 menunjukkan bahwa pembangunan kawasan tidak dapat dilaksanakan oleh satu institusi secara mandiri, melainkan memerlukan koordinasi lintas sektor yang berkelanjutan. BBWS Pemali Juana berperan dalam normalisasi BKT dan pemberian rekomendasi teknis pemanfaatan lahan eks Kali Banger, sedangkan DISPERKIM Kota Semarang bertanggung jawab terhadap pembangunan hunian, fasilitas umum, dan penataan kawasan. Infrastruktur pendukung seperti jalan lingkungan, drainase, jaringan listrik, dan air bersih dikembangkan melalui koordinasi berbagai instansi terkait.

Keterlibatan masyarakat nelayan dalam musyawarah relokasi dan penyesuaian konsep kawasan menjadi faktor penting dalam meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap program relokasi. Pendekatan ini sejalan dengan berbagai penelitian yang menunjukkan bahwa tata kelola kolaboratif memerlukan sinergi antara pemerintah, lembaga teknis, dan masyarakat agar pengambilan

keputusan dapat berjalan efektif dan adaptif (Dudayev et al., 2023; Agustina et al., 2024).

Pola hubungan antarinstansi pada kasus Tambakrejo menunjukkan karakteristik *collaborative governance*, yaitu adanya pembagian peran, koordinasi lintas kewenangan, dan keterlibatan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan. Pendekatan tersebut memungkinkan penyelesaian persoalan teknis, sosial, dan kelembagaan secara simultan sehingga mendukung percepatan pembangunan kawasan relokasi.

Dalam konteks profesionalisme keinsinyuran, kolaborasi tersebut menunjukkan bahwa peran insinyur tidak terbatas pada penyusunan desain teknis. Insinyur juga berfungsi sebagai penghubung antara kebutuhan masyarakat, kebijakan pemerintah, dan persyaratan teknis pembangunan. Kemampuan menerjemahkan kebutuhan berbagai pihak ke dalam solusi teknis yang aman dan dapat dilaksanakan menjadi salah satu kompetensi utama insinyur profesional dalam proyek pembangunan kawasan perkotaan yang kompleks.

Kajian relokasi permukiman menunjukkan bahwa partisipasi masyarakat dapat meningkatkan penerimaan sosial dan mengurangi potensi konflik pascarelokasi (Astuti et al., 2023). Dalam konteks Tambakrejo, pendekatan tersebut diwujudkan melalui musyawarah dan kesepakatan sosial terkait pemanfaatan lahan eks Kali Banger sebagai kawasan relokasi nelayan. Selain itu, pembangunan kawasan juga diarahkan untuk mendukung keberlanjutan aktivitas ekonomi masyarakat melalui penyediaan tambatan perahu, fasilitas kawasan bahari, dan ruang ekonomi lokal.

Aspek penting lainnya adalah legalitas pemanfaatan lahan eks Kali Banger yang berada dalam ruang pengelolaan sumber daya air BBWS Pemali Juana. Oleh karena itu, pembangunan kawasan memerlukan mekanisme pinjam pakai lahan dan rekomendasi teknis untuk memastikan bahwa pemanfaatan kawasan tidak mengganggu fungsi pengendalian banjir maupun sistem sumber daya air di sekitarnya.

Kasus Tambakrejo menunjukkan bahwa keberhasilan pembangunan kawasan relokasi tidak hanya ditentukan oleh kualitas rekayasa teknis, tetapi juga oleh kemampuan para pemangku kepentingan dalam mengelola risiko, memenuhi ketentuan regulasi, dan membangun kesepahaman dengan masyarakat. Temuan ini menunjukkan bahwa pembangunan kawasan relokasi pesisir memerlukan mekanisme koordinasi yang mampu menjembatani kepentingan teknis, sosial, dan kelembagaan secara terpadu.

Situasi tersebut juga menggambarkan dilema yang sering dihadapi dalam praktik keinsinyuran, yaitu antara tuntutan percepatan pembangunan akibat kebutuhan sosial dan kebijakan pemerintah dengan keterbatasan teknis yang ditunjukkan oleh hasil investigasi geoteknik. Dalam kondisi demikian, keputusan teknis tetap harus didasarkan pada hasil analisis ilmiah dan prinsip keselamatan konstruksi. Profesionalisme insinyur diuji melalui kemampuannya mempertahankan standar keselamatan dan kualitas teknis tanpa mengabaikan

kebutuhan masyarakat maupun target pembangunan yang telah ditetapkan.

Berbeda dengan sebagian besar penelitian yang membahas perkuatan tanah lunak atau relokasi masyarakat pesisir secara terpisah, studi ini menunjukkan bahwa keberhasilan pembangunan kawasan relokasi pada lahan bekas sungai ditentukan oleh integrasi antara rekayasa geoteknik adaptif, penataan permukiman tepi air, dan tata kelola kolaboratif. Integrasi ketiga aspek tersebut menjadi kontribusi konseptual utama penelitian dalam mendukung pembangunan kawasan pesisir yang aman, adaptif, dan berkelanjutan.

Keberhasilan penataan Tambakrejo tidak hanya ditentukan oleh efektivitas sistem perkuatan tanah, tetapi juga oleh kesesuaian lokasi relokasi dengan aktivitas ekonomi nelayan. Kedekatan kawasan dengan wilayah tangkap dan fasilitas tambatan perahu memungkinkan masyarakat mempertahankan mata pencaharian sehingga meningkatkan penerimaan sosial terhadap program relokasi.

Implikasi terhadap Pembangunan Kawasan Pesisir Berkelanjutan

Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo memberikan beberapa implikasi penting bagi pembangunan kawasan pesisir perkotaan. Pertama, penggunaan sistem perkuatan hibrid geotekstil–cerucuk bambu pada lahan eks sungai bertanah lunak terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas kawasan dan berpotensi direplikasi pada kota-kota pesisir dengan karakteristik serupa. Kedua, pendekatan relokasi berbasis komunitas menunjukkan bahwa peningkatan kualitas lingkungan dapat dilakukan tanpa menghilangkan identitas sosial maupun keberlanjutan mata pencaharian masyarakat nelayan (Toomey et al., 2021). Temuan ini memperkuat pandangan bahwa keberhasilan relokasi tidak hanya ditentukan oleh penyediaan hunian baru, tetapi juga oleh kemampuan mempertahankan sistem kehidupan masyarakat terdampak (Astuti et al., 2023).

Keberlanjutan mata pencaharian masyarakat menjadi salah satu aspek utama dalam pembangunan kawasan. Penyediaan tambatan perahu, akses menuju kawasan perairan, serta pengembangan kios kuliner dan wisata bahari menunjukkan bahwa pembangunan kawasan tidak hanya berorientasi pada penyediaan hunian, tetapi juga penguatan ekonomi lokal masyarakat pesisir (Latief & Wijaya, 2025). Penguatan ekonomi lokal tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut melalui usaha kolektif masyarakat dan inovasi pembiayaan kawasan pesisir sebagaimana telah diterapkan pada berbagai kota pesisir di Indonesia (Fachry & Alpiani, 2025; Rahadyan & Wibowo, 2025).

Selain aspek sosial-ekonomi, penataan Tambakrejo menunjukkan penerapan pembangunan kota adaptif pada kawasan pesisir perkotaan. Penggunaan sistem perkuatan tanah, kolam retensi, ruang terbuka hijau, dan pengaturan elevasi kawasan menjadi bentuk adaptasi terhadap risiko banjir rob, penurunan tanah, dan kenaikan muka air laut. Temuan ini menunjukkan bahwa kawasan relokasi pesisir perlu dirancang tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan

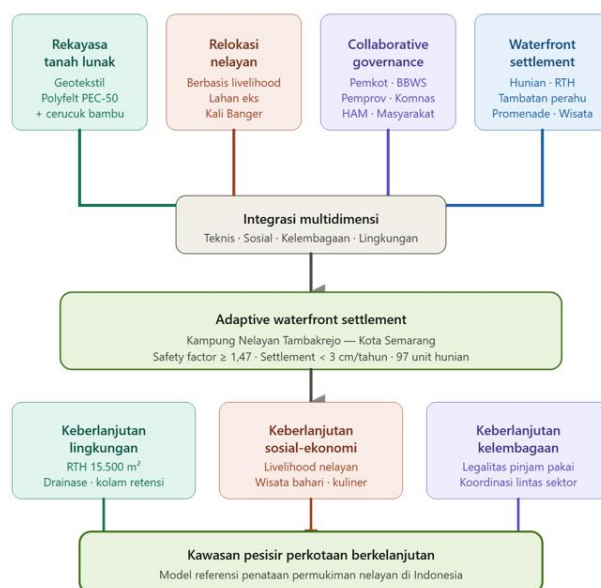
saat ini, tetapi juga untuk meningkatkan ketahanan kawasan terhadap perubahan lingkungan pada masa mendatang.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembangunan permukiman tepi air memerlukan keseimbangan antara pembangunan infrastruktur, keberlanjutan sosial-ekologis, dan perlindungan identitas komunitas pesisir (Toomey et al., 2021; Ekowanti et al., 2025). Kerentanan masyarakat pesisir terhadap tekanan lingkungan dan perubahan iklim semakin menegaskan pentingnya strategi adaptif dalam penataan kawasan relokasi pesisir (Mutanda & Nhamo, 2026). Dalam konteks Tambakrejo, pendekatan tersebut diwujudkan melalui integrasi pembangunan kawasan dengan kebutuhan sosial-ekonomi masyarakat nelayan secara bertahap dan berkelanjutan.

Bagi pemerintah daerah, temuan ini menunjukkan bahwa perencanaan kawasan relokasi pesisir perlu dilakukan secara lintas sektor dengan mengintegrasikan aspek geoteknik, tata ruang, pengendalian banjir, dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat. Pendekatan tersebut dapat menjadi acuan dalam penyusunan kebijakan relokasi dan penataan kawasan pesisir pada wilayah yang menghadapi tekanan urbanisasi maupun perubahan lingkungan.

Temuan penelitian ini juga memiliki relevansi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*). Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo mendukung SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*) melalui penyediaan permukiman yang aman, layak huni, dan tangguh terhadap risiko lingkungan pesisir. Penerapan sistem penguatan tanah, pengendalian drainase, ruang terbuka hijau, dan penataan kawasan yang adaptif terhadap banjir rob berkontribusi terhadap SDG 13 (*Climate Action*) melalui peningkatan kapasitas adaptasi kawasan terhadap dampak perubahan iklim dan kenaikan muka air laut. Selain itu, upaya mempertahankan akses masyarakat terhadap aktivitas perikanan dan pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan mendukung SDG 14 (*Life Below Water*) yang menekankan pemanfaatan sumber daya pesisir dan laut secara berkelanjutan. Dengan demikian, model penataan kawasan yang diterapkan di Tambakrejo tidak hanya memberikan manfaat lokal bagi masyarakat nelayan, tetapi juga berkontribusi terhadap agenda pembangunan berkelanjutan pada tingkat nasional dan global.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pembangunan kawasan pesisir berkelanjutan memerlukan integrasi antara rekayasa geoteknik adaptif, penataan permukiman tepi air, tata kelola kolaboratif, dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat. Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini mengusulkan model penataan kawasan pesisir berkelanjutan yang mengintegrasikan keempat komponen tersebut sebagai kontribusi konseptual utama penelitian dalam mendukung pembangunan kawasan relokasi pesisir yang aman, adaptif, dan berkelanjutan. Model yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Penataan Kawasan Pesisir Berkelanjutan Kampung Nelayan Tambakrejo

Kasus Tambakrejo menunjukkan bahwa relokasi masyarakat pesisir sebaiknya dilakukan sedekat mungkin dengan sumber penghidupan masyarakat, sehingga tujuan penataan kawasan dapat dicapai tanpa menimbulkan kerentanan sosial-ekonomi baru.

Implementasi model penataan kawasan tidak harus dilaksanakan secara bersamaan, tetapi dapat dilakukan secara bertahap sesuai prioritas kebutuhan dan ketersediaan sumber daya. Tahap awal difokuskan pada penanganan aspek yang bersifat kritis, yaitu perbaikan kondisi geoteknik dan penyediaan infrastruktur dasar untuk menjamin keamanan kawasan. Tahap berikutnya diarahkan pada pembangunan fasilitas permukiman dan penguatan akses masyarakat terhadap aktivitas perikanan. Selanjutnya, pengembangan ruang publik, peningkatan kualitas lingkungan, serta penguatan kolaborasi antar pemangku kepentingan dapat dilakukan secara bertahap sesuai kesiapan pendanaan, kapasitas kelembagaan, dan kebutuhan masyarakat. Pendekatan bertahap tersebut diharapkan mampu meningkatkan efektivitas implementasi model sekaligus mengurangi kendala yang berkaitan dengan keterbatasan anggaran, waktu pelaksanaan, maupun koordinasi lintas sektor.

Sebagai rekomendasi implementasi, tahapan pengembangan model penataan kawasan disusun berdasarkan prioritas penanganan, fokus kegiatan, dan pertimbangan pelaksanaan sebagaimana disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi Tahapan Implementasi Model Penataan Kawasan

Tahap	Prioritas	Fokus Implementasi	Pertimbangan
I	Tinggi	Perbaikan tanah dan infrastruktur dasar	Menjamin keamanan dan kelayakan kawasan
II	Tinggi	Pembangunan permukiman nelayan	Mendukung relokasi dan keberlanjutan mata pencaharian
III	Sedang	Pengembangan fasilitas lingkungan dan ruang publik	Meningkatkan kualitas permukiman
IV	Sedang	Penguatan collaborative governance dan pengelolaan kawasan	Menjamin keberlanjutan pengelolaan jangka panjang

Sumber: Disusun oleh penulis berdasarkan hasil penelitian (2026)

Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan

Penataan Kampung Nelayan Tambakrejo menunjukkan bahwa pembangunan kawasan relokasi pesisir pada lahan bekas sungai memerlukan integrasi antara rekayasa geoteknik adaptif, penataan permukiman tepi air, tata kelola kolaboratif, dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat. Pemanfaatan lahan eks Kali Banger menjadi solusi yang memungkinkan relokasi 97 KK nelayan tetap dekat dengan aktivitas perikanan sekaligus mendukung peningkatan kualitas lingkungan kawasan.

Dari aspek teknis, kombinasi geotekstil Polyfelt PEC-50 dan cerucuk bambu terbukti mampu meningkatkan stabilitas tanah serta menurunkan laju penurunan tanah hingga berada di bawah batas aman konstruksi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rekayasa geoteknik adaptif dapat menjadi solusi efektif untuk pengembangan permukiman pada tanah lunak pesisir.

Keberhasilan pembangunan kawasan juga didukung oleh konsep permukiman tepi air yang mempertahankan akses masyarakat terhadap aktivitas ekonomi pesisir serta kolaborasi antara Pemerintah Kota Semarang, BBWS Pemali Juana, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, dan masyarakat terdampak. Integrasi antara aspek teknis, sosial, dan kelembagaan memungkinkan penyelesaian berbagai tantangan pembangunan secara lebih efektif.

Kode etik Catur Karsa dan Sapta Dharma Insinyur terbukti relevan sebagai kompas pengambilan keputusan dalam situasi-situasi dilematis yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan kalkulasi teknis. Prinsip kejujuran, tanggung jawab, dan pengabdian kepada masyarakat memberikan orientasi nilai yang stabil di tengah tekanan dan ketidakpastian yang mewarnai proyek-proyek infrastruktur perkotaan yang kompleks.

Penelitian ini menghasilkan model penataan kawasan pesisir berkelanjutan yang mengintegrasikan empat komponen utama, yaitu rekayasa geoteknik adaptif,

permukiman tepi air, tata kelola kolaboratif, dan keberlanjutan mata pencaharian masyarakat. Model tersebut menjadi kontribusi konseptual utama penelitian dan dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan kawasan relokasi pesisir pada wilayah bertanah lunak di Indonesia.

Pendekatan *mixed-method case study* yang digunakan dalam penelitian ini terbukti sesuai untuk mengintegrasikan analisis geoteknik, penataan kawasan, dan tata kelola kolaboratif dalam penyusunan model penataan Kampung Nelayan Tambakrejo. Pendekatan ini mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai permasalahan dan alternatif penanganannya, meskipun penerapannya memerlukan data teknis dan koordinasi lintas sektor yang relatif kompleks. Dari sisi implementasi, kombinasi geotekstil dan cerucuk bambu memiliki keunggulan dalam meningkatkan stabilitas tanah serta memanfaatkan material yang relatif mudah diperoleh, namun keberhasilannya tetap dipengaruhi oleh ketersediaan pendanaan, kualitas pelaksanaan konstruksi, dan komitmen kolaborasi antar pemangku kepentingan. Oleh karena itu, implementasi model penataan kawasan perlu dilakukan secara bertahap sesuai prioritas pembangunan dan kesiapan sumber daya yang tersedia.

Rekomendasi

1. Perencanaan relokasi masyarakat pesisir perlu mempertimbangkan keberlanjutan mata pencaharian dan keterkaitan masyarakat dengan sumber daya pesisir.
2. Pembangunan kawasan pada tanah lunak memerlukan investigasi geoteknik yang memadai serta penerapan sistem perkuatan yang sesuai dengan karakteristik lokasi.
3. Pengembangan permukiman tepi air perlu mengintegrasikan sistem drainase, mitigasi banjir, ruang terbuka hijau, dan fasilitas publik sebagai bagian dari strategi pembangunan kawasan pesisir yang adaptif.
4. Pemerintah pusat dan daerah perlu memperkuat tata kelola kolaboratif melalui sinkronisasi kebijakan, koordinasi lintas kewenangan, dan pelibatan masyarakat sejak tahap perencanaan.
5. Penelitian lanjutan perlu mengevaluasi kinerja jangka panjang sistem perkuatan tanah dan dampak sosial-ekonomi pascarelokasi untuk menilai keberlanjutan kawasan secara lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pemerintah Kota Semarang, Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Semarang, Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang, BBWS Pemali Juana, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan data dan informasi selama penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada masyarakat Kampung Nelayan Tambakrejo atas partisipasi dan dukungannya dalam proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D., Sumaryana, A., Utami, S. B. & Pancasilawan, R. 2024. Collaborative governance flood disaster mitigation in Indonesia. *Journal of Innovation in Public Sector Development*, 8(3). <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i13.7490>
- Ahirwar, S.K. & Mandal, J.N. 2021. Behaviour of bamboo grid-reinforced soil bed. *International Journal of Geotechnical Engineering*. DOI : [10.1080/19386362.2018.1550909](https://doi.org/10.1080/19386362.2018.1550909)
- Akosah, S., Chen, J. & Bao, N. 2022. Reinforcement of problematic soils using geotextile encased stone/sand columns. *Arabian Journal of Geosciences*, 15. DOI: [10.1007/s12517-022-10561-0](https://doi.org/10.1007/s12517-022-10561-0)
- Astuti, W., Rahayu, P., Rini, E.F. & Mukaromah, H. 2023. Collaborative resettlement process: Assessment of resettlement project in Surakarta. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*. DOI: [10.14246/irpsd.11.4_93](https://doi.org/10.14246/irpsd.11.4_93)
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3rd ed.). Sage Publications.
- Derghoum, R. & Meksaouine, M. 2019. Coupled finite element modelling of geosynthetic reinforced embankment slope on soft soils considering small and large displacement analyses. *Arabian Journal for Science and Engineering*. DOI: [10.1007/s13369-018-3461-2](https://doi.org/10.1007/s13369-018-3461-2)
- Do, H. D., Tran, Q. T., Nguyen, V. H., Phan, K. H., Pham, A. T. 2020. Performance of Foundation on Bamboo–Geotextile Composite Improved Soft Soil in Mekong Delta Through Both Plate Load Test and Numerical Analyses. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. DOI : [10.1007/978-3-030-62324-1_52](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62324-1_52)
- Dudayev, R., Hakim, L.L. & Rufiati, I. 2023. Participatory fisheries governance in Indonesia: Are octopus fisheries leading the way? *Marine Policy*. DOI : [10.1016/j.marpol.2022.105338](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105338)
- Ekowanti, M.R.L., Wahyuni, S. & Tamrin, M.H. 2025. Reframing coastal reclamation policy: Socio-ecological implications of the public-private partnership (PPP) model in the Surabaya waterfront land project. *Environment and Ecology Research*. DOI: [10.13189/eer.2025.130612](https://doi.org/10.13189/eer.2025.130612)
- Fachry, M.E. & Alpiani. 2025. The existence of women's collective enterprises for coastal fisheries sustainability. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. DOI : [10.21608/ejabf.2025.420927.6521](https://doi.org/10.21608/ejabf.2025.420927.6521)
- Fatmawati, R. E., Putra, P. P. & Nurtjahjaningtyas, I. 2023. Soil improvement and embankment stability using combination of preloading and prefabricated vertical drain (PVD). *INERSIA Informasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 19(1). <https://doi.org/10.21831/inersia.v19i1.58658>
- Fitri, S. N. & Wahyuni, F. 2022. Safety factors investigation based on FEM and LEM approach in toll road embankment slope. *Civil Engineering and Architecture*, 10, 1948-1966. DOI: [10.13189/cea.2022.100518](https://doi.org/10.13189/cea.2022.100518)
- Kartawiria, A.K.S., Kamaruddin, S.A.B., Nazir, R.B., Himawan, A., Imran, I., Kurniawan, Y., Manurung, A.E., Anggadinata, Y., Siswanto, S., Editia, R.N., Alatas, I.M., Hartasurya, P., Mikhail, R., Wibowo, P.A., Maharani, Y., Setiawan, M.H. & Wibawa, S.H. 2025. Advanced geotechnical solutions for soft soils: FEM analysis and hybrid reinforcement in the Semarang-Demak toll road project. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2025.57.57>
- Latief, J.A. & Wijaya, N. 2025. Exploring the role of local government in empowering small-scale fishing communities in Northern Coastal Jakarta, Indonesia. *Maritime Studies*. DOI: [10.1007/s40152-025-00442-z](https://doi.org/10.1007/s40152-025-00442-z)
- Mangraviti, V., Flessati, L. & Di Prisco, C. 2023. Mathematical modelling of the mechanical response of geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. DOI : [10.1002/nag.3586](https://doi.org/10.1002/nag.3586)
- Mardiansjah, F.H., Herawati, L.A., & Zainrafipriyadi, D.A. (2024). Tipologi Penanganan Potensi Bencana Longsor Berbasis Zonasi di Kawasan Permukiman Kota Semarang. *Jurnal RIPTEK*, 18(2). <https://doi.org/10.35475/ripteck.v18i2.283>
- Masvika, Hendra & Adi, Agus & Faris, Fikri. 2018. Evaluasi Penurunan Konsolidasi Tanah Di Semarang Utara Berdasarkan Korelasi N-Spt Dengan mv. *Rekayasa Sipil*. 7(1) : 1. DOI: [10.22441/jrs.2018.v07.i1.01](https://doi.org/10.22441/jrs.2018.v07.i1.01)
- Mokhtar, N. & Low, K.S. 2024. Geobamtile to support road embankment over deep soft ground. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. DOI : [10.1088/1755-1315/1347/1/012047](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1347/1/012047)
- Mutanda, G. W. & Nhamo, G. 2026. Livelihoods vulnerability and adaptive strategies for coastal communities. A systematic review. *Marine Policy*, 189 (107094). <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2026.107094>
- Pemerintah Kota Semarang, Dinas Pekerjaan Umum. (2020). *Paparan rekomendasi teknis ijin penggunaan sumber daya air untuk pemanfaatan bekas Sungai Kali Banger untuk penataan kawasan Tambakrejo*. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Pemerintah Kota Semarang, Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman. (2020). *Pembangunan Kampung Nelayan Tambakrejo*. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Pemerintah Kota Semarang. (2021). *Paparan kronologis Tambakrejo*. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Pemerintah Kota Semarang. (2020). *Spesifikasi teknis pembangunan Kampung Nelayan Tambakrejo Tahun 2020*. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.

- Pemerintah Kota Semarang. (2020). *Kerangka acuan kerja (KAK) Tambakrejo* [Dokumen internal proyek]. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Pemerintah Kota Semarang. (2020). *Berita acara hasil rapat Kampung Nelayan Tambakrejo di Ruang Sekda tanggal 4 November 2020* [Dokumen internal]. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Pemerintah Kota Semarang. (2020). *Notulen rapat koordinasi Tambakrejo tanggal 22 September 2020* [Notulen rapat internal]. Semarang: Pemerintah Kota Semarang.
- Rahadyan, G.A. & Wibowo, C.A. 2025. Leveraging land value capture for coastal infrastructure financing: A case study of Kenjeran, Surabaya. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. DOI : 10.1088/1755-1315/1498/1/012021
- Rahmawati, N., Vuillaume, J., Purnama, I. L. S. 2013. Salt Intrusion in Coastal and Lowland areas of Semarang City. *Journal of Hydrologi* 494 (2013) 146-159. DOI : 10.1016/j.jhydrol.2013.04.031
- Santoso, H.A., Wijaya, D.K., & Islahudin, N. (2024). Optimalisasi Rancang Bangun Teknologi Mesin Crumb Rubber dan Sistem Informasi Rantai Pasok untuk Pengolahan Limbah Ban Bekas di Kota Semarang. *Jurnal RIPTEK*, 18(2), 165–176. <https://doi.org/10.35475/ripteck.v18i2.285>
- Sidiq, W. A. B. N., Hanafi, F., Priakusuma, D., Haruman, W., Sumarso, M. Y. & Setyowati, N. 2022. Analisis banjir genangan di kawasan Tembalang dan sekitarnya. *Jurnal Riptek*, 16(2). DOI:<https://doi.org/10.35475/ripteck.v16i2.159>
- SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Tefera, N. K., Melese, D. T., Bafena, H. T. & Negesa, A. B. 2023. Evaluating the effectiveness of nonwoven geotextile-encased cinder gravel column in improving load-bearing and deformation characteristics of soft clay. *Advances in Materials Science and Engineering*. DOI: 10.1155/2023/1753757
- Toomey, A.H., Campbell, L.K., Johnson, M., Strehlau-Howay, L., Manzollillo, B., Thomas, C., Graham, T. & Palta, M. 2021. Place-making, place-disruption, and place protection of urban blue spaces: Perceptions of waterfront planning of a polluted urban waterbody. *Local Environment*. DOI:10.1080/13549839.2021.1952966
- Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y. & Liu, T. 2020. Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/ma13071774>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). Sage Publications.
- Yusof, Z.M., Rozaini, N.A.A., Zainorabidin, A. & Agung, P.A.M. 2023. Settlement performance of bamboo *Dendrocalamus asper* for improving peat soil reinforcement stability. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. DOI:[10.30880/ijscet.2023.14.05.030](https://doi.org/10.30880/ijscet.2023.14.05.030)
- Zheng, G., Yu, X., Zhou, H., Wang, S., Zhao, J., He, X. & Yang, X. 2020. Stability analysis of stone column-supported and geosynthetic-reinforced embankments on soft ground. *Geotextiles and Geomembranes*. DOI:10.1016/j.geotexmem.2019.12.006

Halaman ini sengaja dikosongkan