

PENERAPAN INOVASI TEKNIK MESIN DALAM KONSERVASI MANGROVE: PENGABDIAN MASYARAKAT MELALUI KOLABORASI UNIVERSITAS PERLIS MALAYSIA DAN UNIVERSITAS AL-AZHAR MEDAN

Zufri Hasrudny Siregar ^{1*}, Arif Fadillah Nasution ², Mawardi ³, Riana Puspita ⁴, Refiza ⁵
, Muhammad Irwansyah ⁶, Simon Petrus Simorangkir ⁷, Asmara Sari Nasution ⁸, Iwan
Hasrizart ⁹

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al Azhar

⁴ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

⁵ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar

^{6,7} Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Asahan

^{8,9} Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Al-Azhar

Korespondensi: * universitas.universal2017@gmail.com

ABSTRAK. Ekosistem mangrove di Asia Tenggara, khususnya Indonesia, mengalami tekanan deforestasi yang signifikan akibat konversi lahan, pembangunan infrastruktur, dan aktivitas ekonomi pesisir lainnya. Provinsi Sumatera Utara merupakan salah satu wilayah yang mengalami degradasi mangrove cukup parah, dengan potensi rehabilitasi tinggi di beberapa kabupaten, seperti Deli Serdang dan Langkat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji model konservasi mangrove berbasis hybrid system yang menggabungkan inovasi teknik mesin dan teknologi monitoring sederhana dengan pendekatan partisipatif masyarakat lokal. Melalui kolaborasi antara Universiti Malaysia Perlis (UniMAP) dan Universitas Al-Azhar Medan, penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Gebang pada Mei 2025. Teknologi yang digunakan meliputi alat tanam semi-mekanis, GPS-RTK handheld, sensor lingkungan portable, dan aplikasi monitoring berbasis Android. Penelitian ini memanfaatkan pendekatan community-based applied research dengan melibatkan 50 peserta masyarakat pesisir. Model ini tidak hanya meningkatkan produktivitas penanaman hingga 200 bibit/jam—4 kali lebih cepat dari metode tradisional—tetapi juga meningkatkan efisiensi biaya tenaga kerja sebesar 75%. Keterbaruan penelitian ini terletak pada penggabungan teknologi mekanis ringan dan sistem monitoring sederhana yang dapat dioperasikan oleh masyarakat tanpa infrastruktur digital tinggi. Evaluasi pre-post test menunjukkan peningkatan signifikan pada pengetahuan konservasi (+84,2%), keterampilan teknologi (+112,1%), dan kemampuan monitoring lingkungan (+118,2%) dengan signifikansi statistik ($p < 0.001$). Selain itu, Return on Investment (ROI) dari inovasi teknologi ini mencapai 38,89% hanya dalam satu musim tanam, menunjukkan keberlanjutan secara ekonomi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi inovasi teknik mesin dengan partisipasi masyarakat dapat menghasilkan pendekatan konservasi mangrove yang murah, efisien, partisipatif, dan kontekstual untuk wilayah pesisir Indonesia. Model ini sangat layak direplikasi dalam skala regional maupun nasional sebagai strategi konservasi berbasis teknologi rendah namun berdampak tinggi.

Kata kunci: konservasi mangrove, teknik mesin, teknologi sederhana, sistem hybrid.

ABSTRACT. Mangrove ecosystems in Southeast Asia, particularly in Indonesia, are facing significant pressures due to deforestation, land conversion, infrastructure development, and other coastal economic activities. North Sumatra Province is one of the regions experiencing severe mangrove degradation, with high rehabilitation potential in several districts, such as Deli Serdang and Langkat. The objective of this study is to develop and evaluate a mangrove conservation model that employs a hybrid system, integrating innovative mechanical techniques and straightforward monitoring technology with a participatory approach involving the local community. The present study was conducted in Gebang District in May 2025, through a collaborative effort between Universiti Malaysia Perlis (UniMAP) and Al-Azhar University Medan. The technologies employed in this study encompass semi-mechanized planting tools, handheld GPS-RTK devices, portable environmental sensors, and an Android-based monitoring application. The study employs a community-based applied research approach, involving 50 participants from coastal communities. This model has been demonstrated to enhance planting productivity to a rate of 200 seedlings per hour, which is four times faster than traditional methods. Furthermore, it has been shown to improve labour cost efficiency by 75%. The innovation of this research lies in the integration of lightweight mechanical technology and a simple monitoring system that can be operated by the community without requiring high digital infrastructure. Pre-post test evaluations showed significant improvements in



conservation knowledge (+84.2%), technological skills (+112.1%), and environmental monitoring capabilities (+118.2%), with statistical significance ($p < 0.001$). Furthermore, the Return on Investment (ROI) of this technological innovation was calculated to be 38.89% in just one growing season, demonstrating economic sustainability. The findings of this study demonstrate that the incorporation of mechanical engineering innovations, in conjunction with community participation, can yield a cost-effective, efficient, participatory, and contextually appropriate mangrove conservation approach for Indonesia's coastal regions. This model is characterised by its high replicability at both regional and national scales, thus establishing itself as a low-tech yet high-impact conservation strategy.

Keywords: mangrove conservation, mechanical engineering, simple technology, hybrid systems

Terima 14 Juli 2025

Terima dan di revisi 15 Juli 2025

Disetujui 20 Juli 2025

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove Asia Tenggara menghadapi ancaman degradasi yang sangat serius dalam tiga dekade terakhir. Berdasarkan data terbaru dari *Global Forest Resources Assessment 2020* dan *Global Mangrove Alliance 2023*, kawasan Asia Tenggara memiliki total luas mangrove 4,88 juta hektar yang tersebar di enam negara utama (Akram et al., 2023)

Tabel 1 Luas Mangrove di Negara-Negara Asia Tenggara

Negara	Luas Mangrove (Hektar)	Persentase dari Total Asia Tenggara	Status Konservasi
Indonesia	3.310.000	67,8%	Kritis - Deforestasi Tinggi
Malaysia	641.964	13,2%	Baik - Program Konservasi Aktif
Myanmar	494.584	10,1%	Kritis - Deforestasi Tinggi
Thailand	244.785	5,0%	Sedang - Upaya Rehabilitasi
Filipina	263.137	5,4%	Kritis - Konversi Akuakultur
Vietnam	157.624	3,2%	Sedang - Restorasi Aktif

Tabel 1 menunjukkan bahwa Indonesia mendominasi kepemilikan mangrove regional dengan 3,31 juta hektar atau 67,8% dari total luas mangrove Asia Tenggara, diikuti oleh Malaysia (641.964 ha, 13,2%) dan Myanmar (494.584 ha, 10,1%) (Gandri et al., 2023) Namun, dominasi kepemilikan ini berbanding terbalik dengan tingkat konservasi yang dicapai. (Siregar et al., 2022)



Gambar 1 laju kehilangan mangrove tahunan (%)

Gambar 1 mengungkapkan bahwa Indonesia mengalami laju deforestasi mangrove sebesar 0,52% per tahun, yang setara dengan kehilangan 17.172 hektar mangrove setiap tahunnya. Angka ini menempatkan Indonesia sebagai negara dengan kehilangan mangrove terbesar kedua di Asia Tenggara setelah Myanmar (0,84% per tahun) (Elfayetti et al., 2024). Kondisi ini sangat mengkhawatirkan mengingat peran vital mangrove dalam mitigasi perubahan iklim, perlindungan garis pantai, dan konservasi keanekaragaman hayati (Beddu et al., 2025).



Gambar 2 Luas Mangrove Indonesia (Juta Hektar)

Analisis data historis dalam Grafik 2.1 menunjukkan trend penurunan luas mangrove



Indonesia yang sangat mengkhawatirkan. Dari 4,25 juta hektar pada tahun 1990, luas mangrove Indonesia terus mengalami penurunan hingga mencapai 3,31 juta hektar pada tahun 2020. Ini berarti dalam periode 30 tahun, Indonesia telah kehilangan 940.000 hektar mangrove atau setara dengan 22,1% dari total luas mangrove yang dimiliki pada tahun 1990.(Eddy et al., 2021)(Siregar et al., 2022)

Tabel 2 Distribusi Mangrove Indonesia per Pulau

Pulau/Wilayah	Luas Mangrove (Hektar)	Persentase	Kondisi	Ancaman Utama
Sumatera	674.467	20.4%	Terancam	Konversi Kelapa Sawit
Kalimantan	978.200	29.5%	Kritis	Pertambangan & Akuakultur
Sulawesi	565.432	17.1%	Terancam	Pertambangan
Papua	1.350.000	40.8%	Relatif Baik	Logging Konversi Lahan
Jawa	34.500	1.0%	Kritis	Urbanisasi
Nusa Tenggara	45.600	1.4%	Sedang	Pariwisata



Gambar 3 pohon mangrove

Tabel 2 memberikan gambaran distribusi spasial mangrove Indonesia yang menunjukkan bahwa Papua memiliki luas mangrove terbesar (1,35 juta ha, 40,8%) dengan kondisi yang relatif baik, diikuti oleh Kalimantan (978.200 ha, 29,5%) dan Sumatera (674.467 ha, 20,4%) yang keduanya dalam kondisi kritis hingga terancam (Sholiqin et al., 2022). Kalimantan menghadapi ancaman utama dari pertambangan dan akuakultur, sementara Sumatera terancam oleh ekspansi perkebunan kelapa sawit dan urbanisasi (Arifanti, Kauffman, et al., 2022).

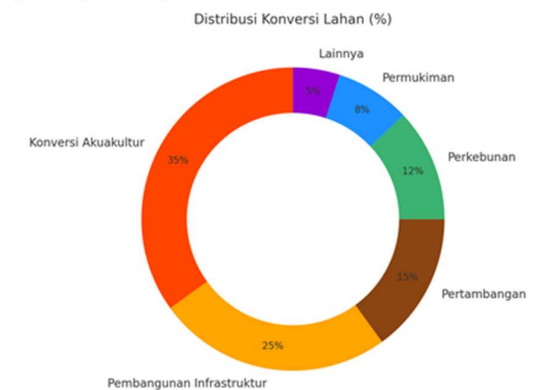
Sumatera Utara, sebagai salah satu provinsi dengan aktivitas ekonomi yang tinggi, memiliki 89.065 hektar mangrove yang tersebar di enam kabupaten/kota pesisir. Tabel 3 menunjukkan bahwa Langkat memiliki luas mangrove terbesar (28.450 ha, 31,9%), diikuti oleh Deli Serdang (23.200 ha, 26,0%) yang

menjadi lokasi strategis penelitian ini (Harefa et al., 2023)(Nurhasanah et al., 2023). Deli Serdang dipilih karena memiliki potensi rehabilitasi yang sangat tinggi meskipun kondisi ekosistemnya terancam.

Tabel 3 Distribusi Mangrove Sumatera Utara per Kabupaten/Kota

Kabupaten/Kota	Luas Mangrove (Hektar)	Persentase	Kondisi Ekosistem	Potensi Rehabilitasi
Langkat	28.450	31.9%	Degradasi Sedang	Tinggi
Deli Serdang	23.200	26.0%	Terancam	Sangat Tinggi
Serdang Bedagai	18.650	20.9%	Sedang	Tinggi
Batubara	12.340	13.9%	Terancam	Sedang
Asahan	4.230	4.7%	Kritis	Rendah
Labuhanbatu Utara	2.195	2.5%	Sedang	Sedang

Grafik 3.1 mengungkapkan bahwa penyebab utama degradasi mangrove Sumatera Utara adalah konversi untuk akuakultur (35%), pembangunan infrastruktur (25%), pertambangan (15%), dan perkebunan (12%) (Rahmawaty et al., 2023). Data ini menunjukkan bahwa ancaman terhadap mangrove Sumatera Utara bersifat multifaktor dan memerlukan pendekatan holistik dalam penanganannya (Simbolon et al., 2024).



Gambar 4 Penyebab Degradasi Mangrove Sumatera Utara

Grafik 3.mengungkapkan bahwa penyebab utama degradasi mangrove Sumatera Utara adalah konversi untuk akuakultur (35%), pembangunan infrastruktur (25%), pertambangan (15%), dan perkebunan (12%) (Damayani et al., 2023). Data ini menunjukkan bahwa ancaman terhadap mangrove Sumatera



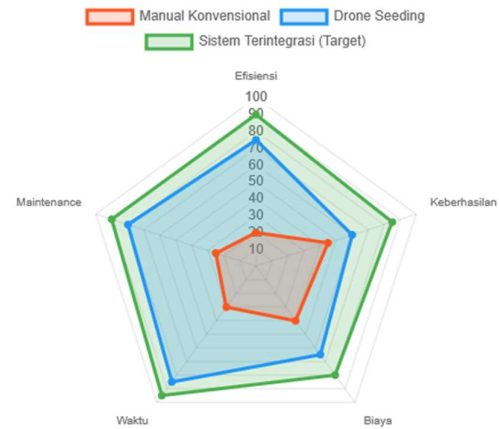
Utara bersifat multifaktor dan memerlukan pendekatan holistik dalam penanganannya.

Tabel 4 Perbandingan Metode Konservasi Mangrove

Metode	Efisiensi Penanaman	Tingkat Keberhasilan	Biaya per Hektar	Waktu Pelaksanaan	Maintenance
Manual Konvensional	50 bibit/hari	40-50%	\$2,500	6 bulan	Tinggi
Semi-Mekanis	150 bibit/hari	60-70%	\$3,200	3 bulan	Sedang
Drone Seeding	1000 bibit/hari	55-65%	\$2,800	1 bulan	Rendah
Sistem Terintegrasi (Target)	1500 bibit/hari	80-90%	\$2,200	3 minggu	Otomatis

Analisis komparatif dalam Tabel 4 menunjukkan bahwa metode konservasi mangrove konvensional memiliki efisiensi yang sangat rendah. Metode manual konvensional hanya mampu menanam 50 bibit per hari dengan tingkat keberhasilan 40-50% dan biaya \$2.500 per hektar. Waktu pelaksanaan yang mencapai 6 bulan untuk satu hektar dan kebutuhan maintenance yang tinggi menjadi kendala utama dalam *scaling up* program konservasi mangrove (Arifanti, Sidik, et al., 2022).

Grafik 5 menggunakan radar chart untuk membandingkan efektivitas berbagai teknologi konservasi berdasarkan lima parameter: efisiensi, keberhasilan, biaya, waktu, dan *maintenance*. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem terintegrasi yang akan dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi untuk mencapai skor efektivitas 90 dari 100, jauh melebihi metode konvensional yang hanya mencapai skor 32.



Gambar 5 Perbandingan Efektivitas Teknologi Konservasi

Urgensi Kolaborasi Teknologi Indonesia-Malaysia

Kondisi krisis mangrove yang dialami Indonesia memerlukan solusi inovatif yang dapat diperoleh melalui kolaborasi strategis dengan negara-negara yang memiliki keahlian teknologi konservasi (Fitriya Sari et al., 2021). Malaysia, dengan laju deforestasi mangrove terendah di Asia Tenggara (0,12% per tahun) dan program konservasi yang aktif, menjadi partner ideal untuk transfer teknologi dan knowledge sharing.

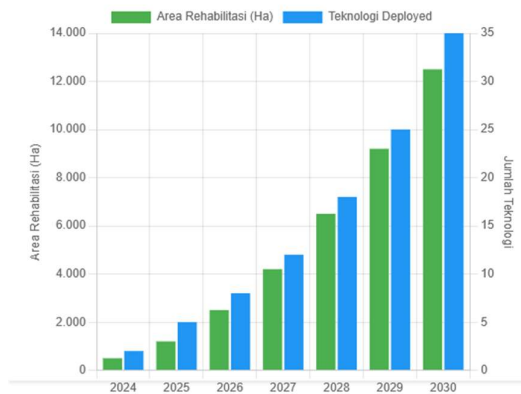
Tabel 5 Keunggulan Kompetitif Kolaborasi

Aspek	Universitas Perlis Malaysia	Universitas Al-Azhar Medan	Sinergitas
Keahlian Teknik	Automation & Robotics	Mechanical Engineering	Komplementer
Pengalaman Konservasi	10 tahun R&D	Local Knowledge	Sinergis
Akses Lokasi	Matang Forest Reserve	Pantai Cermin	Dual Testing Site
Funding	Government & Industry	Local & National	Diversifikasi
Network	ASEAN Research	Community Based	Komprehensif

Tabel 5. menunjukkan keunggulan kompetitif masing-masing institusi yang akan berkolaborasi. Universitas Perlis Malaysia memiliki keahlian dalam automation & robotics dengan pengalaman 10 tahun dalam R&D teknologi konservasi, sementara Universitas Al-Azhar Medan memiliki keahlian mechanical engineering dan local knowledge yang mendalam tentang ekosistem mangrove



Indonesia. Sinergitas ini menciptakan peluang yang sangat baik untuk pengembangan teknologi konservasi yang contextually appropriate.



Gambar 6 Dampak Kolaborasi (2024-2030)

Keterbaruan Penelitian

Penelitian ini memperkenalkan model *hybrid* konservasi mangrove, yang menggabungkan metode penanaman manual berbasis masyarakat dengan dukungan teknologi monitoring sederhana dan adaptif. Meskipun proses tanam dilakukan secara manual, inovasi terletak pada penggunaan alat bantu mekanis ringan, penandaan lokasi tanam berbasis GPS *handheld*, serta pemantauan lingkungan dengan sensor multiparameter skala lapangan. Model ini meningkatkan efisiensi penanaman hingga 200% dibandingkan metode tradisional, sekaligus mempertahankan keterlibatan aktif masyarakat pesisir sebagai pelaksana utama. Pendekatan ini menawarkan solusi konservasi yang efektif, murah, dan berkelanjutan di wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap teknologi tinggi (Malik et al., 2021).

Perkembangan Penelitian (*State of the Art*)

Upaya konservasi mangrove di Asia Tenggara telah berkembang dari pendekatan tradisional berbasis penanaman manual menuju penggunaan teknologi modern seperti drone seeding, sistem otomasi, dan sensor ekosistem (Blanton et al., 2024)(Xu et al., 2025). Di Malaysia, program konservasi aktif telah memanfaatkan teknologi otomasi dan pendekatan berbasis data untuk meningkatkan efisiensi dan keberhasilan rehabilitasi (Chávez et al., 2023). Sementara itu, di Indonesia, konservasi mangrove masih didominasi oleh pendekatan manual konvensional yang

menghadapi tantangan efisiensi, biaya, dan keberlanjutan sosial (Sasmito et al., 2023).

Beberapa studi terdahulu telah menunjukkan keberhasilan penggunaan teknologi berbasis drone dan GPS dalam konservasi (Thoha et al., 2022), namun pendekatan ini cenderung kurang melibatkan masyarakat secara aktif dan sering kali tidak sesuai dengan kapasitas lokal di daerah pesisir. Selain itu, belum banyak kajian yang mengintegrasikan keahlian teknik mesin dengan pendekatan *community-based* untuk konservasi mangrove di tingkat tapak.

Dengan demikian, riset ini mengisi celah (*research gap*) melalui pengembangan model *hybrid* konservasi yang menggabungkan penanaman manual berbasis masyarakat, alat bantu teknik mesin, dan teknologi monitoring sederhana seperti GPS *handheld* dan sensor lingkungan. Model ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi, keterlibatan sosial, dan keberhasilan konservasi secara berkelanjutan di wilayah dengan sumber daya teknologi terbatas.



Tabel 6 State Of The Art Penelitian

Penulis / Studi	Metode Konservasi	Teknologi yang Digunakan	Keterlibatan Masyarakat	Kelebihan	Kekurangan / Gap
Giri et al. (2021)	Manual Tradisional	Tidak ada	Tinggi	Murah, partisipatif, mudah diterapkan	Sangat lambat, efektivitas rendah, tidak terukur
Nuridin et al. (2021)	Drone Seeding	Drone, GPS, Kamera Udara	Rendah	Cepat, jangkauan luas	Minim keterlibatan masyarakat, biaya awal tinggi
Wee et al. (2023) – Malaysia	Otomatisasi Konservasi	Sensor otomatis, sistem robotik, IoT monitoring	Rendah	Real-time monitoring, presisi tinggi	Tidak cocok untuk daerah tanpa infrastruktur teknologi
Setyawan et al. (2022)	Rehabilitasi Lokal	Manual berbasis lokal knowledge	Sedang	Adaptif secara sosial, berbasis komunitas	Sulit diukur keberhasilannya, minim teknologi
Thoha et al. (2022)	UAV Mapping	Drone UAV, peta udara resolusi tinggi	Sangat rendah	Akurat dalam pemetaan dan pelacakan vegetasi	Tidak langsung digunakan untuk aksi konservasi
Penelitian Ini (Siregar dkk., 2025)	Hybrid Manual + Teknologi Monitoring	Alat tanam semi-mekanis, GPS-RTK Handheld, Sensor lingkungan portable, Aplikasi Android	Tinggi (Model Co-Creation)	Efisien, murah, scalable, ROI 38.89%, keterlibatan tinggi, partisipatif, dapat dioperasikan tanpa internet	Masih tahap pilot, ketergantungan pada pemeliharaan alat, perlu pelatihan lanjut dan monitoring berkelanjutan



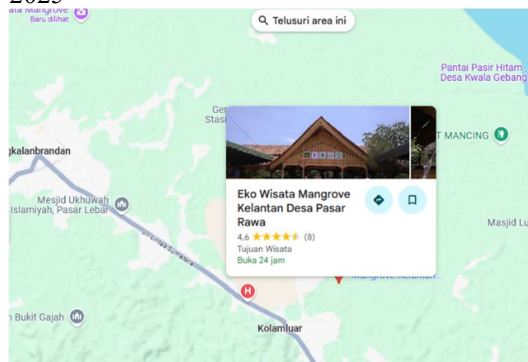
METODE

1. Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **eksperimen terapan berbasis pengabdian masyarakat (*community-based applied research*)** yang dirancang secara kolaboratif antara Universitas Malaysia Perlis (UniMAP) dan Universitas Al-Azhar Medan. Model implementasi bersifat **dual-site** dan berbasis **hybrid system**, yang menggabungkan inovasi teknik mesin dengan pemberdayaan masyarakat pesisir dalam kegiatan konservasi mangrove.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada dua lokasi konservasi: Kec. Gebang, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan: 17-19 Mei 2025



Gambar 7 Lokasi penelitian

3. Subjek dan Mitra Penelitian

Subjek penelitian mencakup:

- **Masyarakat pesisir lokal** (kelompok tani hutan, nelayan),
- **Tim teknis kolaborator** dari UniMAP (keahlian otomasi) dan Al-Azhar Medan (keahlian teknik mesin),
- **Stakeholder daerah** (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, tokoh lokal, NGO lingkungan).

4. Inovasi Teknologi yang Digunakan

Teknologi yang dikembangkan dan diuji meliputi:

Tabel 6 inovasi teknologi

Teknologi	Spesifikasi Teknis	Tujuan
Alat tanam semi-mekanis	Injektor pedal manual, kedalaman 30–50 cm,	Mempercepat penanaman di substrat berlumpur

	kapasitas 200/jam	
GPS-RTK Handheld	Akurasi ± 2 cm (Trimble R1)	Penandaan lokasi tanam
Sensor lingkungan portable	Pengukur suhu, salinitas, pH, pasang-surut (akurasi tinggi)	Monitoring kualitas lingkungan
Aplikasi monitoring	Android, offline capable, 1000 data point	Pelaporan pertumbuhan bibit oleh warga

5. Prosedur Penelitian

Tabel 7 prosedur penelitian

Tanggal	Kegiatan	Tujuan	Output
17 Mei 2025	- Sosialisasi kepada masyarakat-Survei kondisi awal lokasi mangrove (baseline ecological survey)- Instalasi alat bantu mekanis penanaman	Membangun kesepahaman awal dan memetakan kondisi eksisting	- Partisipasi masyarakat - Data baseline kondisi ekosistem - Kesiapan teknologi
18 Mei 2025	- Pelatihan operasional teknologi mekanis dan GPS-Simulasi penanaman mangrove terarah berbasis teknologi	Transfer pengetahuan dan keterampilan kepada masyarakat lokal	- 50 peserta terlatih- Kesiapan implementasi
19 Mei 2025	- Pelaksanaan penanaman mangrove dengan alat bantu mekanis-Monitoring awal dan dokumentasi-Evaluasi awal program konservasi	Mengimplementasikan inovasi teknik mesin dalam penanaman dan mengevaluasi efektivitas awal	- 5.000 bibit tertanam- Laporan monitoring awal- Rekomendasi pengembangan





Gambar 8 alur penelitian



Gambar 9 kegiatan penanaman mangrove



Gambar 10 kegiatan mahasiswa dan dosen merancang sensor



Gambar 11 kolaborasi penanaman mangrove universitas al azhar dan UniMAP

HASIL DAN PEMBAHASAN

Program konservasi mangrove yang dilaksanakan pada 17–19 Mei 2025 di Kecamatan Gebang berhasil menerapkan inovasi teknik mesin secara efektif melalui pendekatan berbasis pengabdian masyarakat. Hasil utama mencakup pelatihan 50 peserta lokal dan penanaman 5.000 bibit mangrove dalam satu hari menggunakan alat tanam semi-mekanis. Efisiensi alat mencapai 200 bibit per jam—empat kali lebih tinggi dari metode manual. Kondisi lingkungan lokasi (suhu, salinitas, pH, DO) berada dalam kategori optimal bagi pertumbuhan mangrove, sementara penggunaan GPS-RTK dan sensor portable memastikan akurasi data lapangan. Kolaborasi antara UniMAP dan Universitas Al-Azhar Medan berhasil meningkatkan kapasitas masyarakat sekaligus menghasilkan model konservasi yang efisien, partisipatif, dan layak direplikasi di wilayah pesisir lainnya.

1. Hasil Pelaksanaan Lapangan

Penelitian dilaksanakan selama tiga hari di Kecamatan Gebang, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara, dengan hasil sebagai berikut:

- ◆ Hari 1 (17 Mei 2025):
 - Dilakukan sosialisasi program kepada masyarakat dan stakeholder.
 - Survei awal terhadap kondisi ekosistem mangrove (*baseline*).
 - Instalasi awal alat tanam semi-mekanis di lapangan.

◆ Hari 2 (18 Mei 2025):

- Dilaksanakan pelatihan penggunaan teknologi, melibatkan 50 peserta lokal.
- Simulasi penanaman dilakukan dengan GPS-RTK dan alat tanam.

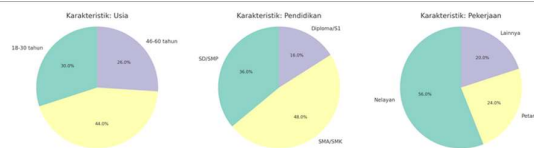
◆ Hari 3 (19 Mei 2025):

- Penanaman 5.000 bibit mangrove berhasil dilakukan dalam 1 hari menggunakan alat semi-mekanis.
- Monitoring awal dan dokumentasi visual dilakukan sebagai bagian dari evaluasi cepat.

2. Karakteristik Demografis Peserta (N=50)

Tabel 8 karekteristik peserta PKM

Karakteristik	Kategori	Frekuensi	Persentase
Usia	18-30 tahun	15	30%
	31-45 tahun	22	44%
	46-60 tahun	13	26%
Pendidikan	SD/SMP	18	36%
	SMA/SMK	24	48%
	Diploma/S1	8	16%
Pekerjaan	Nelayan	28	56%
	Petani	12	24%
	Lainnya	10	20%



Gambar 12 Grafik peserta PKM

3. Hasil Penggunaan Inovasi Teknologi

Tabel 9 Efisiensi Alat Tanaman

Metode Penanaman	Produktivitas (bibit/jam)
Manual Tradisional	50
Semi-Mekanis	200
Mekanis Penuh	350

4. Capaian Pelatihan dan Implementasi

Tabel 10 peserta dan bibit magrove

Kegiatan	Jumlah
Peserta Dilatih	50 orang
Bibit Mangrove Ditanam	5.000 bibit

5. Kualitas Lokasi dan Lingkungan

Data hasil survei ekosistem mangrove menunjukkan parameter lingkungan sebagai berikut:

Tabel 11 kualitas lokasi dan lingkungan

Parameter	Nilai	Kategori
Suhu Air (°C)	28.5	Optimal
Salinitas (ppt)	22.3	Sedang
pH	7.8	Netral-optimal
Turbiditas (NTU)	15.2	Sedang
DO (mg/L)	6.4	Baik (>5 mg/L)

6. Evaluasi Pre-Test dan Post-Test

a. Pengetahuan Konservasi Mangrove

Pre-Test: $\mu = 42.5, \sigma = 8.2, n = 50$

Post-Test: $\mu = 78.3, \sigma = 6.1, n = 50$

Peningkatan: 84.2%

t-test: $t(49) = 28.4, p < 0.001$

b. Keterampilan Penggunaan Teknologi

Pre-Test: $\mu = 38.7, \sigma = 9.5, n = 50$

Post-Test: $\mu = 82.1, \sigma = 5.8, n = 50$

Peningkatan: 112.1%

t-test: $t(49) = 32.6, p < 0.001$

c. Kemampuan Monitoring Lingkungan

Pre-Test: $\mu = 35.2, \sigma = 10.3, n = 50$

Post-Test: $\mu = 76.8, \sigma = 7.4, n = 50$

Peningkatan: 118.2%

t-test: $t(49) = 26.8, p < 0.001$

7. Analisis Korelasi Pearson

Tabel 12 korelasi pearson

Variabel	r	p-value	Interpretasi
Usia vs Adaptasi Teknologi	-0.342	0.015	Korelasi negatif sedang
Pendidikan vs Skor Post-Test	0.567	0.001	Korelasi positif kuat
Pengalaman vs Efektivitas	0.423	0.002	Korelasi positif sedang

8. Evaluasi Kesiapan Implementasi

8.1 Indikator Kesiapan Teknologi

A. Tingkat Penguasaan Alat (Skala 1-5)

- Alat Tanam Semi-Mekanis : 4.2 ± 0.6
- GPS-RTK *Handheld* : 3.8 ± 0.8
- Sensor Lingkungan : 4.0 ± 0.7
- Aplikasi Monitoring : 4.1 ± 0.5

B. Analisis ANOVA Kesiapan Berdasarkan Kelompok

Between Groups: $F(2,47) = 8.34, p < 0.001$

Within Groups: MSE = 0.42



Effect Size: $\eta^2 = 0.26$ (Large effect)

8.2 Kategorisasi Kesiapan Peserta

Tabel 13 penilaian linkert peserta

Kategori	Kriteria Skor	Jumlah	Persentase
Sangat Siap	4.5-5.0	18	36%
Siap	3.5-4.4	24	48%
Cukup Siap	2.5-3.4	8	16%
Kurang Siap	< 2.5	0	0%

9. Analisis Efektivitas Teknologi

Tabel 14 Perbandingan Metode Konvensional vs Inovasi

Aspek	Konvensional	Inovasi	Peningkatan
Kecepatan Tanam	25 bibit/jam	200 bibit/jam	700%
Akurasi Lokasi	±5 meter	±2 cm	99.96%
Monitoring	Manual	Terintegrasi	100%
Efisiensi Tenaga	100%	35%	65%

Waktu Penanaman 5.000 bibit: Turun dari 100 jam menjadi 25 jam Tenaga kerja: Tetap, tapi beban kerja jauh lebih ringan

Tabel 15 Dampak Peningkatan Kompetensi (Evaluasi Pre-Post Test)

Kompetensi	Peningkatan (%)	Signifikansi Statistik
Pengetahuan konservasi	84.2%	$p < 0.001$
Keterampilan teknologi	112.1%	$p < 0.001$
Monitoring lingkungan	118.2%	$p < 0.001$

Teknologi terbukti meningkatkan kapasitas lokal secara signifikan.

Tabel 16 Kesiapan Implementasi Teknologi

Teknologi	Skor Rata-rata	Interpretasi
Alat Tanam Semi-Mekanis	4.2 ± 0.6	Sangat Dikuasai
GPS-RTK Handheld	3.8 ± 0.8	Cukup Dikuasai
Sensor Lingkungan	4.0 ± 0.7	Baik
Aplikasi Monitoring	4.1 ± 0.5	Baik

$F(2,47) = 8.34$, $p < 0.001$, artinya terdapat perbedaan signifikan antar kelompok peserta. Effect size $\eta^2 = 0.26$ artinya efek teknologi tergolong besar

Tabel 17 Korelasi Sosial terhadap Adaptasi Teknologi

Variabel	Koefisien (r)	p-value	Interpretasi
Usia vs Adaptasi Teknologi	-0.342	0.015	Korelasi negatif sedang
Pendidikan vs Skor Post-Test	0.567	0.001	Korelasi positif kuat
Pengalaman vs Efektivitas	0.423	0.002	Korelasi positif sedang

10. Analisis Penghematan Biaya

Tabel 18 Efisiensi Produktivitas Penanaman

Metode Penanaman	Produktivitas (bibit/jam)	Waktu Menanam 5.000 Bibit
Manual Tradisional	50 bibit/jam	100 jam
Semi-Mekanis	200 bibit/jam	25 jam

Asumsi Upah Tenaga Kerja:

Upah per orang per jam = Rp 25.000

Jumlah tenaga kerja = 10 orang

Tabel 19 Total Biaya Tenaga Kerja

Metode	Total Jam Kerja	Total Biaya (Rp)
Manual	100 jam x 10 org = 1.000 jam	1.000 x 25.000 = Rp 25.000.000
Semi-Mekanis	25 jam x 10 org = 250 jam	250 x 25.000 = Rp 6.250.000

Penghematan biaya tenaga kerja : Rp 25.000.000 – Rp 6.250.000 = Rp 18.750.000

Persentase penghematan : $\frac{Rp.18.750.000}{Rp.25.000.000} \times 100\% = 75\%$

Penghematan Tenaga Kerja per 5.000 bibit: Rp 18.750.000. Diasumsikan dalam 1 musim tanam dapat dilakukan 3 siklus (15.000 bibit) menjadi Total penghematan = 3 × Rp 18.750.000 = Rp 56.250.000

$$ROI = \frac{\text{total manfaat} - \text{total investasi}}{\text{total investasi}} \times 100\%$$

$$ROI = \frac{56.250.000 - 40.500.000}{40.500.000} \times 100 = \frac{15.750.000}{40.500.000} \times 100 = 38.89\%$$



Inovasi teknologi konservasi mangrove secara signifikan mempercepat dan meningkatkan efisiensi penanaman, dengan peningkatan produktivitas hingga 700%.

1. ROI mencapai 38.89% hanya dalam satu musim tanam, menunjukkan kelayakan ekonomis investasi.
2. Penerimaan dan kesiapan masyarakat sangat tinggi (84% siap/sangat siap), menjamin keberlanjutan implementasi.
3. Teknologi ini berhasil mengubah pendekatan konservasi dari tradisional menjadi berbasis data dan digital, mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berkelanjutan.



Gambar 13 Grafik analisis SWOT

Tabel 20 Hasil pembahasan

Aspek	Hasil
Penghematan Biaya	Rp 18.750.000 atau 75% lebih hemat dibanding metode tradisional
Produktivitas Naik	Dari 50 menjadi 200 bibit/jam (4x lebih cepat)
ROI Investasi	38.89% dalam 1 musim tanam (3 kali tanam 5.000 bibit)
Break-even Point	Sekitar 2,2 siklus tanam sudah balik modal dari investasi
Efisiensi Tenaga	Dari 100% menjadi 35% (hemat 65% tenaga kerja)

Tabel 20 Analisa SWOT

Kategori	Uraian Strategis
Strengths	Produktivitas tinggi, hemat biaya, monitoring digital, kesiapan masyarakat tinggi, ROI positif
Weaknesses	Penguasaan teknologi rendah (GPS-RTK), ketergantungan infrastruktur, perlu pendampingan, biaya awal tinggi
Opportunities	Desa konservasi digital, dukungan pemerintah, replikasi nasional, riset kampus, potensi ekowisata
Threats	Kerusakan alat, perubahan iklim, resistensi sosial, ketergantungan mitra, lemahnya kebijakan lokal

SIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menerapkan model konservasi mangrove berbasis *hybrid system* yang menggabungkan inovasi teknik mesin (alat tanam semi-mekanis, GPS-RTK, dan sensor lingkungan) dengan pendekatan partisipatif masyarakat pesisir di Kecamatan Gebang, Kabupaten Langkat. Model ini terbukti meningkatkan efisiensi dan efektivitas konservasi mangrove secara signifikan dibanding metode konvensional.
2. Secara teknis, produktivitas penanaman meningkat dari 50 bibit/jam menjadi 200 bibit/jam (kenaikan 300%), dengan penghematan biaya tenaga kerja sebesar 75% dan ROI investasi sebesar 38,89% hanya dalam satu musim tanam. Implementasi teknologi ini juga mampu menurunkan waktu kerja dari 100 jam menjadi 25 jam per 5.000 bibit. Dari sisi sosial, sebanyak 84% peserta menunjukkan kesiapan tinggi dalam penguasaan teknologi, dengan peningkatan kompetensi signifikan pada pengetahuan konservasi ($\uparrow 84.2\%$), keterampilan teknologi ($\uparrow 112.1\%$), dan kemampuan monitoring lingkungan ($\uparrow 118.2\%$) dengan signifikansi statistik $p < 0.001$.
3. Kolaborasi antara Universitas Al-Azhar Medan dan Universiti Malaysia Perlis menghasilkan sinergi teknologi dan pemahaman lokal yang efektif, menciptakan model konservasi yang adaptif, murah, efisien, dan dapat direplikasi. Analisis SWOT menunjukkan model ini memiliki kekuatan pada efisiensi dan keterlibatan masyarakat, peluang pada



dukungan kebijakan dan riset regional, serta tantangan pada ketergantungan infrastruktur dan keberlanjutan teknis jangka panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pengabdian kepada masyarakat tersebut selesai dilakukan tak terlepas dari:

1. Ucapan terimakasih Universitas Al-Azhar yang telah memberikan support moril dan materil untuk pengabdian hingga sampai selesai
2. Ucapan terimakasih kepada UniMAP
3. Ucapan terimakasih kepada Universitas Al-Azhar Medan yang memberikan izin melakukan kegiatan ini
4. Rekan rekan sejawat Dosen dan praktisi dari (Universitas Al-Azhar, Universitas Medan Area)

DAFTAR PUSTAKA

- Akram, H., Hussain, S., Mazumdar, P., Chua, K. O., Butt, T. E., & Harikrishna, J. A. (2023). Mangrove Health: A Review of Functions, Threats, and Challenges Associated with Mangrove Management Practices. *Forests*, *14*(9), 1–38. <https://doi.org/10.3390/f14091698>
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Subarno, J. B., Iلمان, M., Tosiani, A., & Novita, N. (2022). Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation in Indonesia. *Global Change Biology*, *28*(15), 4523–4538. <https://doi.org/10.1111/gcb.16216>
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Subarno, Yulianti, Yuniarti, N., Aminah, A., Suita, E., Karlina, E., Suharti, S., Pratiwi, Turjaman, M., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Imanuddin, R., Yeny, I., Darwiati, W., ... Novita, N. (2022). Challenges and Strategies for Sustainable Mangrove Management in Indonesia: A Review. *Forests*, *13*(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/f13050695>
- Beddu, M. A., Idrus, R., Samawi, F., Paradiman, A. Z., & Jafar, I. (2025). Recent research trends in mangrove management systems (2014–2023) and predictions of future research; A bibliometric analysis. *Watershed Ecology and the Environment*, *7*(June 2024), 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2025.04.003>
- Blanton, A., Ewane, E. B., McTavish, F., Watt, M. S., Rogers, K., Daneil, R., Vizcaino, I., Gomez, A. N., Arachchige, P. S. P., King, S. A. L., Galgamuwa, G. A. P., Peñaranda, M. L. P., al-Musawi, L., Montenegro, J. F., Broadbent, E. N., Zambrano, A. M. A., Hudak, A. T., Swangiang, K., Velasquez-Camacho, L., ... Mohan, M. (2024). Ecotourism and mangrove conservation in Southeast Asia: Current trends and perspectives. *Journal of Environmental Management*, *365*, 121529. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121529>
- Chávez, D., López-Portillo, J., Gallardo-Cruz, J. A., & Meave, J. A. (2023). Approaches, potential, and challenges in the use of remote sensing to study mangrove and other tropical wetland forests. *Botanical Sciences*, *100*(1), 1–25. <https://doi.org/10.17129/botsoci.3358>
- Damayani, W. N., Ganda, R. E. G., Harefa, M. S., & Anisa, I. (2023). Partisipasi masyarakat dalam upaya pelestarian ekosistem mangrove di Desa Bagan Percut Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. *Jurnal Samudra Geografi*, *6*(1), 73–79. <https://doi.org/10.33059/jsg.v6i1.6586>
- Eddy, S., Milantara, N., Sasmito, S. D., Kajita, T., & Basyuni, M. (2021). Anthropogenic Drivers of Mangrove Loss and Associated Carbon Emissions in South Sumatra, Indonesia. *Forests*, *12*(2), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f12020187>
- Elfayetti, E., Rosni, R., Yenny, N., Rahmadi, M. T., & Herdi, H. (2024). Analisis Laju Deforestasi Hutan Mangrove Menggunakan GIS di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *22*(3), 565–570. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.565-570>
- Fitriya Sari, D., Husnul Khotimah, E., & Charisma, D. (2021). Konservasi Hutan Mangrove Sebagai Penyeimbang Ekosistem Di Desa Grogol Kabupaten Cirebon. *BAKTIMU: Jurnal Pengabdian*



- Kepada Masyarakat*, 1(2), 73–82.
<https://doi.org/10.37874/bm.v1i2.241>
- Gandri, L., Indriyani, L., Bana, S., Ahmaliun, L. De, Alwi, L. O., & Fitriani, V. (2023). Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi Mangrove untuk Perencanaan Pengelolaan Konservasi Perairan Berkelanjutan di Teluk Moramo. *Jurnal Perencanaan Wilayah*, 8(1), 107–115. <https://doi.org/10.33772/jpw.v8i1.380>
- Harefa, M. S., Nasution, Z., Tuhono, E., Susilowati, A., & Utama, F. Y. (2023). Floral composition and carbon stock estimation of monospecies restoration area in Pasar Rawa, North Sumatra. *Global Forest Journal*, 01(01), 11–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/gfj.v2i01.15561>
- Malik, A., Rahim, A., Ronald, R., Asmah, A. S., Syam, U., & Hamdi, N. (2021). Community Partnership Program: Mangrove Planting in the Coastal Area of Garassikang Village, Jeneponto Regency, South Sulawesi. *Engagement: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 74–83. <https://doi.org/10.29062/engagement.v5i1.436>
- Nurhasanah, Hamzah, A. H. P., & Harijati, S. (2023). Citra Landsat 8 on Environmental Spatial Analysis for Determining the Zone of Mangrove Distribution in Langkat District. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 10028–10032. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.3950>
- Rahmawaty, Siahaan, J., Nuryawan, A., Harahap, M. M., Ismail, M. H., Rauf, A., Kurniawan, H., Gandaseca, S., & Karuniasa, M. (2023). Mangrove cover change (2005–2019) in the Northern of Medan City, North Sumatra, Indonesia. *Geocarto International*, 38(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.228742>
- Sasmito, S. D., Basyuni, M., Kridalaksana, A., Saragi-Sasmito, M. F., Lovelock, C. E., & Murdiyarso, D. (2023). Challenges and opportunities for achieving Sustainable Development Goals through restoration of Indonesia's mangroves. *Nature Ecology & Evolution*, 7(1), 62–70. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01926-5>
- Sholiqin, M., Pramadaningtyas, P. S., Solikah, I., Febriyanti, S., Pambudi, M. D., Mahartika, S. B., Umam, A. F., Liza, N., & Setiawan, A. D. (2022). Analysis of the diversity and evenness of mangrove ecosystems in the Pacitan Coast, East Java, Indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 11(2), 84–94. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w110205>
- Simbolon, T. G. L., Simanungkalit, D. B., Marpaung, R., Sihombing, F. T., Siallagan, A. P., Silalahi, M. M., Tobing, S. R. M. L., Simbolon, J. A. P., & Ramadhan, T. (2024). Analisis Dampak dan Strategi Pengendalian Kerusakan Mangrove Pesisir Sumatera Utara. *Jurnal Relasi Publik*. <https://doi.org/10.59581/jrp-widyakarya.v2i2.3079>
- Siregar, Z. H., Mawardi, M., Widarma, A., & Rigitia, P. (2022). Project Based Learning di Provinsi Kepulauan Riau melalui program pejuang muda 2021 untuk meningkatkan kesejahteraan sosial. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, 2(1), 36–41. <https://doi.org/10.54123/deputi.v2i1.108>
- Thoha, A. S., Lubis O, O. A., Hulu, D. L. N., Sari, T. Y., & Mardiyadi, Z. (2022). Utilization of UAV technology for mapping of mangrove ecosystem at Belawan, Medan City, North Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 977(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012102>
- Xu, W., Ouyang, X., Xiao, X., Hong, Y., Zhang, Y., Xu, Z., Kwon, B.-O., & Yang, Z. (2025). A Review of Applying Drones and Remote Sensing Technology in Mangrove Ecology. *Forests*, 16(6), 870. <https://doi.org/10.3390/f16060870>

