

**RENOC (*RENOVATIVE CONCRETE*) : OPTIMALISASI
BETON BERBASIS LIMBAH TULANG AYAM
TERINTEGRASI TEKNOLOGI PIEZOELEKTRIK DAN
TERMOELEKTRIK GENERATOR (TEG)**



Diajukan untuk Lomba Esai Nasional

CLEANOVATION

“Youth Action for a sustainable Energy Future”

Nama Penyusun	: Rahayu Murti Ayuningtyas
Instansi Asal	: Universitas Gadjah Mada
Email & Nomor WA	: rahetyas90@gmail.com dan 081286281761
Subtema Esai :	: Teknologi Energi Terbarukan dan Inovasi Digital
Tahun	: 2025

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur global terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan populasi dan urbanisasi, dengan beton sebagai salah satu material konstruksi utama yang berperan penting dalam mendukung proyek strategis seperti jalan, jembatan, dan bangunan. Menurut *Global Cement and Concrete Association* (2021), konsumsi beton dunia diperkirakan mencapai 30 miliar ton per tahun, menjadikannya material konstruksi paling banyak digunakan di dunia setelah air. Di sisi lain, masalah energi menjadi isu global yang mendesak, mengingat ketergantungan terhadap sumber energi fosil tidak hanya terbatas tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan. Kementerian ESDM (2021) memproyeksikan bahwa kebutuhan listrik di Indonesia akan meningkat drastis hingga mencapai 1.885 Terawatt Hour (TWh) pada tahun 2060, dengan sekitar 1.728 TWh dipenuhi oleh PLN dan sisanya, sekitar 157 TWh, oleh sektor non-PLN. Menanggapi hal ini, pemerintah Indonesia menargetkan peningkatan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) hingga 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 sebagai bagian dari strategi transisi energi nasional yang berkelanjutan.

Tingginya kebutuhan energi di Indonesia bisa diatasi dengan memanfaatkan sektor yang belum optimal, seperti limbah organik dari peternakan. Indonesia menghasilkan limbah tulang ayam dalam jumlah besar akibat konsumsi daging ayam yang tinggi, namun sebagian besar limbah ini belum dikelola dengan baik dan berpotensi mencemari lingkungan serta menghasilkan gas rumah kaca. Oleh karena itu, perkembangan teknologi saat ini memungkinkan limbah semacam itu dikonversi menjadi sumber daya berharga melalui pendekatan energi terbarukan. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah teknologi piezoelektrik dan termoelektrik generator (TEG), yang mampu mengubah energi mekanik dan termal menjadi listrik dengan efisiensi hingga 20%, sehingga dapat mendukung efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon pada infrastruktur bangunan.

Konsep RENOC (*Renovative Concrete*) merupakan solusi inovatif yang menggabungkan pemanfaatan limbah tulang ayam dengan teknologi piezoelektrik dan termoelektrik generator (TEG) untuk menghasilkan beton yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga mampu memproduksi energi listrik secara pasif dari tekanan dan perbedaan suhu. Kandungan mineral dalam tulang ayam, seperti kalsium dan fosfat, meningkatkan kekuatan mekanik beton, sementara integrasi teknologi energi memperluas fungsinya sebagai sumber energi terbarukan (Kumar *et al.*, 2021). RENOC mendukung visi Indonesia Emas 2045 dengan mendorong pembangunan infrastruktur berkelanjutan, efisiensi energi, serta adopsi teknologi hijau. Selain manfaat teknis dan lingkungan, RENOC juga berkontribusi secara sosial dan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja di sektor pengelolaan limbah dan peningkatan

kesadaran masyarakat akan pentingnya keberlanjutan. Dengan demikian, RENOC menjadi strategi konkret menuju pembangunan Indonesia yang lebih maju, bersih, dan berdaya saing tinggi di masa depan.

II. ISI

II.1. Urgensi RENOC dalam *Smart City*

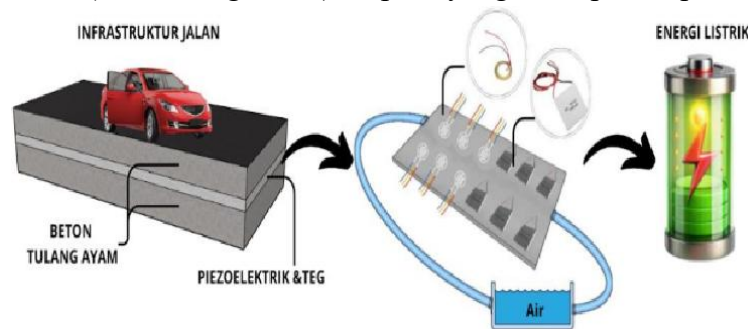
Kebutuhan beton di Indonesia mencapai 132,12 juta ton untuk kebutuhan pembangunan infrastruktur sesuai Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024. Bahkan diperkirakan setidaknya dibutuhkan 27,52 juta ton beton untuk pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) (AP31, 2023). Beton menjadi material bangunan yang paling banyak digunakan pada dunia infrastruktur. Menurut Direktur Jenderal Pembiayaan Infrastruktur dan Perumahan Kementerian PUPR Herry Trisaputra Zuna, proporsi penggunaan beton dalam konstruksi infrastruktur sumber daya air 80%, permukiman dan perumahan 60 %, dan pembangunan jalan dapat mencapai 56-71% dari seluruh material yang digunakan (Republika, 2023).

Menurut SNI 2847-2018, beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu. Beton banyak digunakan pada pembangunan misalnya pada bendungan, pipa saluran, fondasi, struktur gedung dan masih banyak lagi. Beton memiliki banyak kelebihan diantaranya dapat menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat. Dengan semakin meningkatnya penggunaan beton serta materialnya yang mudah ditemukan munculah ide inovatif untuk memulai percobaan pengembangan teknologi beton. RENOC tidak hanya menjawab tantangan lingkungan, tetapi juga menyediakan solusi inovatif yang memadukan keberlanjutan material, pengelolaan limbah organik, dan energi terbarukan dalam satu produk. Beton ini selaras dengan kebutuhan pembangunan masa depan yang ramah lingkungan, efisien, dan mendukung Indonesia emas 2045.

II.2. Rancangan Desain RENOC

Inovasi RENOC merupakan kombinasi pemanfaatan limbah tulang ayam dan teknologi piezoelektrik serta termoelektrik dalam pembuatan beton berkelanjutan. Tulang ayam yang kaya akan kalsium karbonat dan fosfat diolah menjadi bubuk halus sebagai substitusi sebagian semen, sehingga tidak hanya mengurangi kebutuhan semen, tetapi juga meningkatkan densitas dan ketahanan retak beton (Subekti *et al.*, 2021; Rukmana *et al.*, 2021). Di Indonesia, lebih dari 1,2 juta ton limbah tulang ayam per tahun masih belum dimanfaatkan secara optimal (BPS, 2023).

Integrasi teknologi piezoelektrik dan termoelektrik generator (TEG) dalam RENOC memberikan nilai tambah berupa kemampuan menghasilkan energi listrik. Material piezoelektrik seperti PZT (Timbal Zirkonat Titanat) yang ditanam dalam beton mampu menghasilkan energi listrik hingga 390,6 kWh/tahun/km pada kondisi lalu lintas rata-rata 1.000-5.000 kendaraan per hari (Chen *et al.*, 2023). Sementara itu, implementasi TEG memungkinkan konversi perbedaan suhu menjadi energi listrik melalui efek *Seebeck*, dengan potensi menghasilkan daya 0,5- 2 Watt per meter persegi dalam kondisi optimal (Park *et al.*, 2023). Teknologi TEG memanfaatkan panas yang diserap oleh permukaan beton akibat paparan sinar matahari untuk menciptakan gradien suhu yang menghasilkan aliran listrik (Ćwikła *et al.*, 2021). Sistem perlindungan menggunakan logam pelindung atau bahan insulasi diterapkan untuk mencegah kerusakan material piezoelektrik akibat tekanan mekanis berulang dan perubahan suhu (Li & Wang, 2021). Seperti yang dilampirkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain RENOC

II.3. Optimasi Potensi Tulang Ayam sebagai Campuran Bahan Beton

Limbah tulang ayam merupakan salah satu jenis limbah organik yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri peternakan dan konsumsi domestik. Tulang ayam, yang terdiri atas bahan mineral seperti kalsium karbonat dan fosfat, sering kali dianggap tidak memiliki nilai tambah. Di Indonesia, lebih dari 1,2 juta ton limbah tulang ayam dihasilkan setiap tahun, sebagian besar tidak dimanfaatkan dengan optimal (Badan Pusat Statistik, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Subekti *et al.* (2021) menunjukkan bahwa limbah tulang ayam memiliki sifat fisik dan kimia yang cocok untuk digunakan sebagai bahan tambahan pada beton. Dalam aplikasinya, tulang ayam yang diolah menjadi bubuk halus dapat dicampurkan ke dalam semen untuk menggantikan sebagian kecil komponen konvensional. Proses ini tidak hanya mengurangi kebutuhan semen, tetapi juga memperbaiki beberapa karakteristik beton, seperti densitas dan ketahanan terhadap retak. Namun, tantangan utama dalam memanfaatkan limbah tulang ayam adalah kebutuhan akan teknologi pengolahan yang tepat untuk menghasilkan material dengan kualitas yang konsisten. Limbah

tulang harus melewati proses pengeringan, penggilingan, dan penyaringan sebelum dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam semen (Rukmana *et al.*, 2021).

II.4. Mekanisme Kerja Teknologi Piezoelektrik dan Termoelektrik Generator (TEG) dalam RENOC

Teknologi piezoelektrik memanfaatkan bahan seperti PZT (Timbal Zirkonat Titanat) yang dapat menghasilkan arus listrik saat mengalami tekanan atau getaran. PZT memiliki sensitivitas tinggi, tahan suhu ekstrem, dan stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Dalam inovasi RENOC, material ini ditanamkan di dalam beton untuk mengubah energi mekanis dari tekanan kendaraan menjadi listrik. Energi yang dihasilkan disalurkan dan disimpan melalui kabel berisolasi XLPE ke battery bank. Penelitian menunjukkan bahwa beton piezoelektrik pada jalan dengan lalu lintas 1.000–5.000 kendaraan per hari mampu menghasilkan hingga 390,6 kWh/tahun/km. Untuk menjaga ketahanan, material piezoelektrik ditempatkan di bagian tengah beton agar terlindungi dari tekanan langsung, serta dilapisi bahan pelindung terhadap suhu dan kelembaban. Teknologi ini juga diintegrasikan dengan Internet of Things (IoT) untuk pemantauan performa secara real-time, memungkinkan pemeliharaan dan evaluasi sistem yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Sementara itu, teknologi termoelektrik generator (TEG) dalam RENOC memanfaatkan efek *Seebeck*, yakni konversi perbedaan suhu menjadi energi listrik. Beton yang terpapar sinar matahari menciptakan gradien suhu antara permukaan dan bagian dalam, yang kemudian dikonversi menjadi arus listrik oleh material TEG (Ćwikła *et al.*, 2021; Rowe, 2018). Energi ini berasal dari panas lingkungan yang biasanya terbuang, seperti radiasi matahari atau panas limbah. Penelitian oleh Park *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa sistem TEG mampu menghasilkan daya 0,5–2 Watt/m² dalam kondisi optimal, dan inovasi lanjutan dengan penggunaan nanostruktur berpotensi meningkatkan kinerjanya (Wang & Li, 2023). Dengan integrasi piezoelektrik dan TEG RENOC, seperti Gambar 2 (Terlampir pada Lampiran) cocok diterapkan pada bangunan atau permukaan jalan untuk menyediakan sumber listrik bagi penerangan, sensor monitoring, maupun penyimpanan energi.

II.5. Rancangan Pengembangan RENOC

Gambar 4 (terlampir) merupakan rencana jalinan stakeholder, timeline yang terikat pada proses implementasi gagasan RENOC. Dalam Pelaksanaan dan pengembangan RENOC memerlukan kolaborasi lintas sektor. LSM lingkungan mendorong kesadaran publik dan memastikan pengolahan limbah tulang ayam ramah lingkungan. Peneliti mengembangkan formulasi beton, menguji performa

piezoelektrik dan termoelektrik, serta menyediakan data teknis. Industri peternakan menjadi penyedia limbah, sementara industri konstruksi bertanggung jawab atas produksi dan implementasi RENOC. Pemerintah berperan dalam regulasi dan integrasi proyek, sedangkan investor mendukung dari sisi pembiayaan. Masyarakat sebagai pengguna akhir juga berperan penting dalam penerimaan sosial dan pemeliharaan sistem. Secara lebih rinci, peran setiap stakeholder dijelaskan dalam tabel I (terlampir) sebagai kunci keberhasilan RENOC sebagai beton inovatif yang cerdas, hijau, dan berkelanjutan.

III. PENUTUP

RENOC (Renovative Concrete) adalah inovasi beton berkelanjutan yang memanfaatkan limbah tulang ayam sebagai pengganti sebagian semen dan mengintegrasikan teknologi piezoelektrik serta termoelektrik generator (TEG) untuk menghasilkan energi listrik pasif. Beton ini tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanik dan mengurangi emisi karbon, tetapi juga mampu menghasilkan energi hingga 390,6 kWh/tahun/km dari piezoelektrik dan 0,5–2 Watt/m² dari TEG. RENOC mendukung pembangunan infrastruktur hijau di Indonesia, sejalan dengan target energi terbarukan nasional dan visi Indonesia Emas 2045. Keberhasilannya memerlukan kolaborasi antara pemerintah, industri, peneliti, dan masyarakat, dengan rencana pengembangan mulai riset tahun 2025 hingga implementasi bertahap pada 2028.

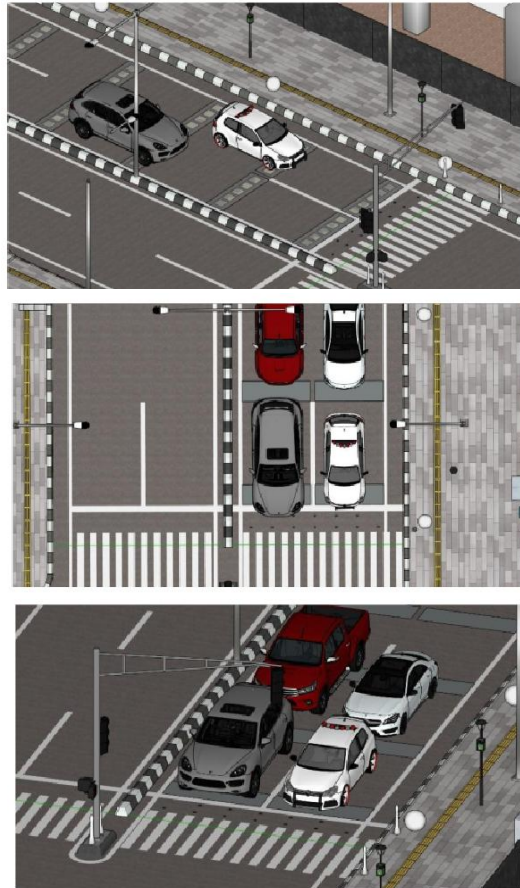
DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik konsumsi daging ayam ras di Indonesia. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPPT. (2015). Kebijakan Energi Nasional: Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Chen, J., Qiu, Q., Han, Y., & Lau, D. (2019). A review of energy efficiency technologies in the cement industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 603–614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.020>
- Chen, J., Zhang, Y., & Liu, X. (2019). Advances in piezoelectric materials for energy harvesting. *Energy Reports*, 5, 1057–1071. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.10.025>
- Global Cement and Concrete Association. (2021). Concrete and sustainability: A global perspective. Diakses dari <https://gccassociation.org>
- Journal of Cleaner Production. (2023). Enhancing energy efficiency through integrated concrete technologies: Piezoelectric and thermoelectric generator applications. *Journal of Cleaner Production*, 12(4), 312–326.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Outlook energi Indonesia 2021: Proyeksi kebutuhan energi listrik*. Kementerian ESDM.
- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. (2021). Potential of animal waste in concrete applications: A case study on poultry bone waste. *Construction and Building Materials*, 28(9), 1–15.
- Park, S., Kim, H., & Lee, J. (2023). Performance analysis of concrete-integrated thermoelectric generators under various environmental conditions. *Energy Conversion and Management*, 275, 116434. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116434>
- Republika. (2023, July 26). PUPR sebut tiga tren kebutuhan beton dalam pembangunan infrastruktur. Republika. <https://ekonomi.republika.co.id>
- Rukmana, A., Setiawan, T., & Lestari, D. (2021). Teknologi pengolahan tulang ayam untuk bahan aditif beton. *Jurnal Teknologi Bahan Bangunan*, 15(3), 155–170.
- Subekti, A., Rahmawati, F., & Prasetyo, A. (2021). Karakteristik fisik dan kimia tulang ayam sebagai bahan alternatif beton. *Jurnal Teknologi Sipil*, 18(2), 89–100.
- UNUGHA. (2022). Energi baru terbarukan: Konsep dan penerapan. Universitas Nahdlatul Ulama Gajah.
- Wang, W., Yang, X., Wang, K. K., & He, L. (2021). Recent advances in ultra-high-performance concrete: A review of materials, processes, and properties. *Materials Today Communications*, 29, 102517. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102517>

Wang, W., Xu, D., & Li, S. (2018). Durability of piezoelectric materials in civil engineering applications. *Construction and Building Materials*, 180, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.040>

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Desain Integrasi Piezoelektrik dan Termoelektrik Generator (TEG)



Gambar 2. Desain Integrasi Piezoelektrik dan Termoelektrik Generator (TEG) (Tampak Samping, Tampak Atas, dan Tampak Depan)

LAMPIRAN 2 : Stakeholder Pengembang RENOC



Gambar 3. Stakeholder Pengembang RENOC

Tabel I. Analisis Stakeholder

Stakeholder	Peran	Kepentingan	Pengaruh
Pemerintah	• Regulasi dan kebijakan • Pemberian insentif • Pengawasan standar	Tinggi	Tinggi
Industri Konstruksi	• Implementasi teknologi • Pengembangan produk • Standardisasi	Tinggi	Tinggi
Industri Peternakan	• Penyedia limbah tulang ayam • Manajemen rantai pasok	Sedang	Sedang

Akademisi/Peneliti	• Riset dan pengembangan • Inovasi teknologi • Pengujian	Tinggi	Sedang
Masyarakat	• Pengguna akhir • Penerima manfaat	Rendah	Rendah
Investor	• Pendanaan • Pengembangan bisnis	Tinggi	Tinggi
LSM Lingkungan	• Advokasi • Pengawasan dampak	Sedang	Sedang

LAMPIRAN 3 : Skema Langkah-langkah Realisasi Gagasan RENOC



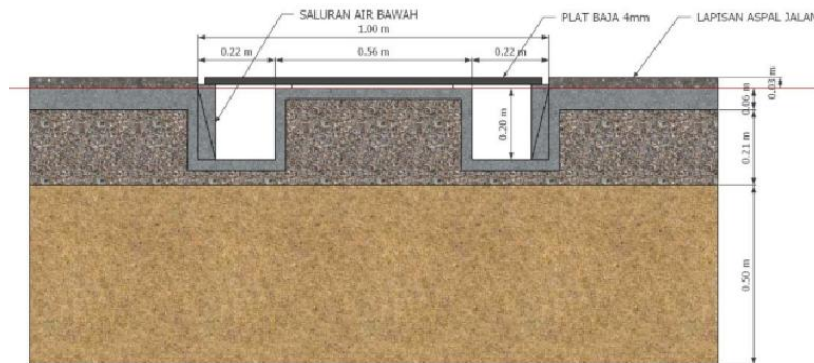
Gambar 4. Skema Langkah-langkah Realisasi Gagasan RENOC

LAMPIRAN 4 : Komponen RENOC

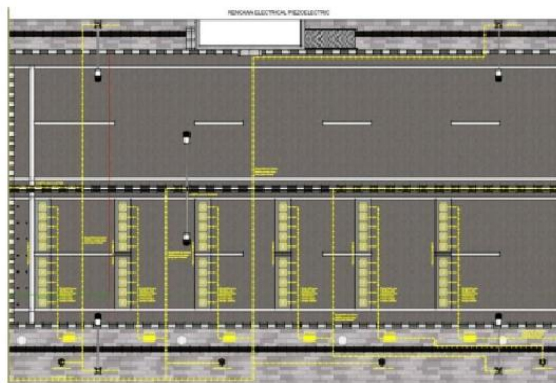
Tabel II. Komponen RENOC

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
Bubuk Tulang Ayam	• Ukuran partikel < 75 μm • Kandungan CaCO_3 > 70% • Kadar air < 1%	Substitusi parsial semen
Material Piezoelektrik	• PZT (<i>Timbal Zirkonat Titanat</i>) • Sensitivitas > 400 pC/N • Suhu Curie > 300°C	Konversi energi mekanik
Termoelektrik Generator	• Efisiensi konversi > 5% • Gradien suhu optimal 20-50°C • Material berbasis Bi_2Te_3	Konversi energi panas
Sistem Proteksi	• Insulasi XLPE • Pelindung logam • Waterproofing	Perlindungan komponen
Sistem Penyimpanan	• Baterai lithium-ion • Kapasitas sesuai kebutuhan • Sistem manajemen baterai	Penyimpanan energi

LAMPIRAN 5 : Desain Integrasi Piezoelektrik pada Jalan



Gambar 5. Lapisan Piezoelektrik



Gambar 6. Integrasi Kabel Piezoelektrik



Gambar 7. Spesifikasi Plat Piezoelektrik

LAMPIRAN 6 : Analisis Strategi Implementasi

Tabel III. Analisis Strategi Implementasi

Strategi	Deskripsi
Segmentasi Pasar	Mengidentifikasi dan fokus pada segmen pasar yang peduli terhadap inovasi dan keberlanjutan dalam konstruksi, seperti pengembang properti ramah lingkungan, proyek infrastruktur berkelanjutan, dan institusi yang mendukung teknologi hijau.
Edukasi dan Pelatihan	Sediakan program pelatihan dan demonstrasi kepada kontraktor, arsitek, dan insinyur sipil mengenai manfaat dan aplikasi RENOC, memastikan pemahaman yang mendalam tentang keunggulan material ini.
Kemitraan Strategis	Bekerja sama dengan pemerintah, lembaga penelitian, dan organisasi industri untuk memperluas jangkauan dan adopsi RENOC, serta mendapatkan dukungan regulasi dan pendanaan.
Penetapan Harga Kompetitif	Menawarkan skema harga yang kompetitif dan fleksibel, termasuk opsi pembiayaan atau insentif bagi proyek yang mengadopsi teknologi ramah lingkungan, guna mendorong penggunaan RENOC.
Promosi melalui Media	Memanfaatkan berbagai platform media, termasuk media sosial, publikasi industri, dan seminar, untuk meningkatkan kesadaran dan minat terhadap RENOC serta menekankan manfaat lingkungan dan efisiensi energi yang ditawarkan.
Studi Kasus dan Testimoni	Mempublikasikan studi kasus sukses dan testimoni dari proyek yang telah menggunakan RENOC untuk membangun kepercayaan dan menarik minat lebih banyak pengguna.

LAMPIRAN 7 : Analisis PESTEL Proyek RENOC

Tabel IV. Analisis PESTEL Proyek RENOC

Aspek	Faktor yang diperhatikan	Dampak Proyek RENOC
Politik	Kebijakan pemerintah mengenai pengelolaan limbah dan inovasi teknologi ramah lingkungan.	Dapat mendukung implementasi RENOC jika regulasi yang memadai tersedia, termasuk insentif untuk pengurangan limbah dan teknologi penghasil energi terbarukan.
Ekonomi	Stabilitas ekonomi dan potensi pasar untuk beton berkelanjutan berbasis energi terbarukan.	Memengaruhi kemampuan sektor konstruksi untuk mengadopsi RENOC, khususnya pada proyek-proyek besar yang membutuhkan efisiensi biaya dan manfaat lingkungan.
Sosial	Penerimaan pembangunan terhadap teknologi baru yang memanfaatkan limbah tulang ayam serta kesadaran akan pentingnya Pembangunan berkelanjutan.	Menentukan keberhasilan adopsi RENOC di masyarakat, terutama pada proyek-proyek yang berhubungan dengan komunitas lokal dan proyek percontohan.
Teknologi	Kemajuan dalam teknologi <i>piezoelektrik</i> dan <i>termoelektrik</i> , serta ketersediaan infrastruktur untuk memproduksi beton inovatif.	Mendukung efisiensi dan keandalan teknologi RENOC memastikan kompatibilitas dengan proses konstruksi yang ada.
Lingkungan	Tingkat polusi akibat limbah tulang ayam dan kebutuhan untuk mengurangi emisi	Membantu mengatasi masalah lingkungan melalui pengelolaan limbah yang efektif dan inovasi yang

	karbon di sektor konstruksi.	menyerap karbon sekaligus menghasilkan energi terbarukan.
Legal	Regulasi terkait produksi material bangunan yang aman, standar beton, dan penerapan teknologi energi terbarukan dalam konstruksi.	Memastikan RENOC memenuhi semua standar industri yang berlaku, meningkatkan kredibilitasnya sebagai solusi beton berkelanjutan yang aman dan legal.

LAMPIRAN 8 : Analisis SWOT

Tabel V. Analisis SWOT

Strengths (Kekuatan)	Weaknesses (Kelemahan)
• Pemanfaatan limbah tulang ayam mengurangi masalah lingkungan	• Membutuhkan teknologi pengolahan khusus untuk limbah tulang ayam
• Menghasilkan energi terbarukan dari tekanan mekanis dan panas	• Biaya awal implementasi yang tinggi
• Mendukung multiple SDGs (7, 9, 12)	• Ketergantungan pada pasokan limbah tulang ayam yang stabil
• Mengurangi kebutuhan semen konvensional	• Kompleksitas dalam instalasi dan pemeliharaan sistem
• Meningkatkan karakteristik beton (densitas, ketahanan)	• Belum ada standarisasi produksi skala besar

Opportunities (Peluang)	Threats (Ancaman)
• Pertumbuhan pasar konstruksi berkelanjutan	• Resistensi dari industri beton konvensional
• Dukungan kebijakan pemerintah untuk EBT	• Fluktuasi harga komponen teknologi
• Potensi pengembangan teknologi <i>piezoelektrik</i> dan TEG	• Persaingan dengan teknologi energi terbarukan lain
• Peningkatan kesadaran lingkungan	• Ketidakpastian regulasi
• Peluang kerjasama industri-akademia	• Risiko kegagalan teknologi dalam jangka panjang

LAMPIRAN 9 : Analisis Risiko

Tabel VI. Analisis Risiko

Kategori	Risiko	Probabilitas	Dampak	Mitigasi
Teknis	• Kegagalan material • Penurunan performa • Masalah integrasi	Sedang	Tinggi	• Quality control ketat • Monitoring berkala • Standar prosedur
Finansial	• Overrun biaya • ROI rendah • Fluktuasi pasar	Tinggi	Tinggi	• Manajemen anggaran • Diversifikasi investasi • Asuransi
Operasional	• Gangguan supply chain • Masalah maintenance • Kendala teknis	Sedang	Sedang	• Supply chain management • Pelatihan teknisi • SOP maintenance
Regulasi	• Perubahan kebijakan • Standar baru • Perizinan	Rendah	Tinggi	• Compliance monitoring • Adaptasi regulasi • Konsultasi hukum

Lampiran 10 : Analisis Kelayakan

Tabel VII. Analisis Kelayakan

Aspek	Parameter	Hasil	Keterangan
Teknis	• Ketersediaan teknologi • Kemudahan implementasi • Durabilitas	Layak	Membutuhkan pengembangan lebih lanjut
Ekonomi	• NPV • IRR • Payback period	Layak	ROI positif dalam jangka panjang
Sosial	• Penerimaan Masyarakat • Dampak sosial • Manfaat komunitas	Layak	Dukungan stakeholder diperlukan
Lingkungan	• Dampak ekologis • Pengurangan emisi • Manajemen limbah	Sangat Layak	Mendukung sustainability

LAMPIRAN 11 : ANALISIS EKONOMI RENOC

Proyeksi Skala per m³

A. Bahan Baku Utama

Komponen	Kuantitas (kg)	Harga Satuan kg	Total
Semen Portland (80%)	320	Rp1.200,00	Rp384.000,00
Bubuk Tulang Ayam (20%)	80	Rp500,00	Rp40.000,00
Pasir	760	Rp200,00	Rp152.000,00
Kerikil	1029	Rp250,00	Rp257.250,00
Air	190	Rp20,00	Rp3.800,00
Subtotal Bahan Baku	Rp837.050		

B. Komponen Teknologi

Komponen	Kuantitas	Harga Satuan	Total
Piezoelektrik PZT	4	Rp250.000,00	Rp1.000.000,00
TEG Module	2	Rp450.000,00	Rp900.000,00
Kabel & Insulasi	1	Rp300.000,00	Rp300.000,00
Subtotal Teknologi	Rp2.200.000		

C. Biaya Produksi Lainnya

Komponen	Biaya (Rp)
Tenaga Kerja	150,000
Overhead Produksi	100,000
Peralatan & Maintenance	80,000
Subtotal Biaya Lainnya	330,000

Total Biaya Produksi per m³: Rp 3,367,050

2. Analisis Potensi Pendapatan

A. Estimasi Produksi Energi

Piezoelektrik (Asumsi lalu lintas sedang)

1. Produksi energi: 390.6 kWh/tahun/km
2. Per m³ (asumsi tebal jalan 20 cm): 78.12 kWh/tahun
3. Harga listrik PLN: Rp 1,500/kWh
4. Pendapatan dari *piezoelektrik*: Rp 117,180/tahun

TEG (Thermoelectric Generator)

1. Produksi energi: 1.25 W/m² (rata-rata)
2. Luas permukaan efektif per m³: 5 m²
3. Total produksi: 54.75 kWh/tahun
4. Pendapatan dari TEG: Rp 82,125/tahun

Total Pendapatan Energi per Tahun: Rp 199,305

B. Penghematan Biaya

Komponen	Penghematan per Tahun (Rp)
Pengurangan penggunaan semen	96,000
Pengelolaan limbah tulang	50,000
Pengurangan emisi karbon	75,000
Total Penghematan	221,000

C. Manfaat Ekonomi Tambahan

Aspek	Nilai ekonomi (Rp/tahun)
Pengurangan biaya pemeliharaan	150,000
Peningkatan durabilitas	100,000
Nilai tambah green building	200,000
Total manfaat Tambahan Per Tahun	450,000

Tahun	Pendapatan Energi	Pengematan	Total Benefit	Kumulatif
1	Rp 199.305,00	Rp 671.000,00	Rp 870.305,00	Rp 870.305,00
2	Rp 199.305,00	Rp 671.000,00	Rp 870.305,00	Rp 1.740.610,00
3	Rp 199.305,00	Rp 671.000,00	Rp 870.305,00	Rp 2.610.915,00
4	Rp 199.305,00	Rp 671.000,00	Rp 870.305,00	Rp 3.481.220,00
5	Rp 199.305,00	Rp 671.000,00	Rp 870.305,00	Rp 4.351.525,00

Total benefit 5 Tahun = Rp 4.351.525,00

Investasi Awal = Rp 3.367.050,00

Net ROI = 29%

Asumsi Dasar

- Periode analisis: 10 tahun
- Tingkat diskonto: 10% (sesuai rata-rata suku bunga pinjaman investasi)
- Initial investment: Rp 3,367,050 per m³
- Kenaikan biaya operasional: 5% per tahun
- Kenaikan harga listrik: 3% per tahun

1. Net Present Value (NPV)

Tahun	Cash Inflow (Rp)	Cash Outflow (Rp)	Net Cash Flow (Rp)	DF (10%)	Present Value (Rp)
0	0	3,367,050	-3,367,050	1.000	-3,367,050
1	870,305	100,000	770,305	0.909	700,207
2	896,414	105,000	791,414	0.826	653,707
3	923,307	110,250	813,057	0.751	610,605
4	951,006	115,763	835,243	0.683	570,671
5	979,536	121,551	857,985	0.621	532,807
6	1,008,922	127,628	881,294	0.564	497,050

7	1,039,190	134,010	905,180	0.513	464,358
8	1,070,366	140,710	929,656	0.467	434,148
9	1,102,477	147,746	954,731	0.424	404,807
10	1,135,551	155,133	980,418	0.386	378,441

NPV = Rp 1,879,751 (Positif, proyek layak)

2. Internal Rate of Return (IRR)

Dengan metode interpolasi:

- NPV pada 10% = Rp 1,879,751
- NPV pada 20% = Rp 245,632
- IRR = 17.8%

IRR = 17.8% (> tingkat diskonto 10%, proyek layak)

3. Break Even Point (BEP)

BEP dalam Unit (m³):

$BEP (Unit) = Fixed Cost / (Price per unit - Variable Cost per unit) = 3,367,050 / (870,305 - 100,000) = 4.37 m^3$

BEP dalam Rupiah

$BEP (Rp) = Fixed Cost / (1 - (Variable Cost/Revenue)) = 3,367,050 / (1 - (100,000/870,305)) = Rp 3,800,622$

4. Payback Period

Tahun	Net Cash Flow	Kumulatif
0	-3,367,050	-3,367,050
1	770,305	-2,596,745
2	791,414	-1,805,331
3	813,057	-992,274
4	835,243	-157,031
5	857,985	700,954

Payback Period = 4 + (157,031/857,985) = 4.18 tahun

5. Benefit-Cost Ratio (B/C Ratio)

Present Value Benefits

Komponen	Nilai (Rp)
PV Pendapatan Energi	3,247,824
PV Penghematan	1,998,977
Total PV Benefits	5,246,801

Present Value Costs

Komponen	Nilai (Rp)
PV Initial Investment	3,367,050
PV Operational Costs	891,482
Total PV Costs	4,258,532

$B/C \text{ Ratio} = \text{Total PV Benefits} / \text{Total PV Costs}$

$$= 5,246,801 / 4,258,532$$

$$= 1.23$$

Berdasarkan analisis kelayakan finansial :

- ⇒ NPV positif menunjukkan proyek menguntungkan secara finansial
- ⇒ IRR 17,8% lebih tinggi dari tingkat diskonto (10%)
- ⇒ Payback Period 4,18 tahun relatif cepat untuk investasi infrastruktur
- ⇒ B/C ratio >1 menunjukkan manfaat lebih besar dari biaya
- ⇒ Proyek layak diimplementasikan

LAMPIRAN. Biodata Peserta

**BIODATA PESERTA ESSAI NASIONAL
CLEANOVATION**

Nama Lengkap : Rahayu Murti Ayuningtyas
NIM : 22/503919/TK/55095
Tempat, tanggal lahir : Bekasi, 08 Juli 2004
Jenis Kelamin : Perempuan
Telp/Hp : 081286281761
Email : rahetyas90@gmail.com
Asal Instansi : Universitas Gadjah Mada
Jurusan/Prodi : Teknik Kimia
Judul Esai : *Renoc (Renovative Concrete) : Optimalisasi Beton
Berbasis Limbah Tulang Ayam Terintegrasi Teknologi
Piezoelektrik Dan Termoelektrik Generator (Teg)*

Yogyakarta, 15 Juni 2025



Rahayu Murti Ayuningtyas

LAMPIRAN HASIL TURNITIN

energi			
ORIGINALITY REPORT			
6%	5%	2%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	www.researchgate.net Internet Source	2%	
2	www.smartcityindo.com Internet Source	1%	
3	Mufarida Nely Ana, Arta Abtian Fidhausi Alviyndin, Kosjoko Kosjoko. "Pengaruh Dimensi Saluran Buang dan Sudut Kipas Generator Terhadap Kinerja Perangkat Oscillating Water Column", Journal of Mechanical Engineering, 2024 Publication	1%	
4	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	1%	
5	www.harianaceh.co.id Internet Source	1%	
6	ejournal.unhasy.ac.id Internet Source	<1%	
7	www.kompas.com Internet Source	<1%	
8	jurnal.fkip.unila.ac.id Internet Source	<1%	
9	zombiedoc.com Internet Source	<1%	