

Indeks Kinerja Implementasi *Biogas Concrete Compact Reactor* di Pondok Pesantren Cipulus Bandung

Choerudin¹, Salafudin², Ronny Kurniawan³, Riny Yolandha Parapat⁴, Jasman Pardede⁵, Marsono⁶, Jono Suhartono⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Institut Teknologi Nasional Bandung Indonesia

Email Jono Suhartono: jono_suhartono@itenas.ac.id

ABSTRAK

Program Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan pengelolaan limbah peternakan sapi di Pondok Pesantren Maulana Al-Karim, Cipulus Bandung, melalui penerapan teknologi biogas concrete compact reactor yang ramah lingkungan dan mudah dirawat. Permasalahan utama mitra meliputi keterbatasan pengelolaan limbah, belum adanya pemanfaatan energi alternatif, serta rendahnya kapasitas teknis dalam pengoperasian reaktor biogas. Kegiatan dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu survei dan Focus Group Discussion (FGD), sosialisasi, pelatihan teknis, serta pembangunan dan uji coba reaktor biogas skala lapangan. Hasil implementasi menunjukkan bahwa tingkat pelaksanaan kegiatan cukup tinggi dengan Total Execution Rate sebesar 77% dan Implementation Performance Index (IPI) sebesar 63%, menandakan pelaksanaan berjalan baik meskipun terdapat kendala pada aspek ketepatan waktu. Analisis penggunaan dana menunjukkan efisiensi dan proporsionalitas tinggi dengan indeks penggunaan dana 4,28 dari 5, di mana peningkatan biaya perjalanan terjadi akibat kondisi geografis lokasi mitra dan kebutuhan teknis lapangan. Secara keseluruhan, kegiatan ini berhasil memperkenalkan sistem pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan, menghasilkan energi terbarukan untuk kebutuhan pesantren, serta meningkatkan kapasitas masyarakat dalam pengoperasian teknologi biogas. Program ini diharapkan menjadi model replikasi bagi pengembangan energi terbarukan berbasis komunitas pesantren di wilayah pedesaan.

Kata kunci: biogas beton, reaktor kompak, energi terbarukan, pemberdayaan masyarakat, implementation performance index

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor peternakan di Indonesia, khususnya di wilayah Jawa Barat, memberikan kontribusi penting terhadap penyediaan protein hewani nasional (Suryani, 2022). Namun, peningkatan populasi ternak, terutama sapi, menimbulkan permasalahan limbah organik yang belum tertangani secara optimal. Berdasarkan data Dinas Peternakan Provinsi Jawa Barat (2023), populasi sapi di wilayah Bandung Raya mencapai lebih dari 150.000 ekor dengan produksi limbah sekitar 15–20 kg/ekor/hari. Tanpa pengelolaan yang tepat, limbah tersebut berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan gangguan kesehatan masyarakat (Rahman, 2021).

Pondok Pesantren Cipulus di Kecamatan Cibiru merupakan salah satu pesantren dengan unit usaha peternakan sapi berjumlah sekitar 50 ekor, menghasilkan limbah 750–1.000 kg per hari. Saat ini pengelolaan limbah masih dilakukan secara konvensional dengan menimbun di lahan terbuka, sehingga menimbulkan bau tidak sedap dan potensi pencemaran air tanah. Sementara itu, CV. Anugrah Triple Cycle sebagai mitra pendukung teknologi tepat guna memiliki pengalaman dalam pengembangan sistem biogas, namun menghadapi kendala dalam proses alih teknologi ke masyarakat, terutama terkait desain reaktor yang sesuai dengan kondisi lokal, ketersediaan bahan, serta pendampingan teknis yang berkelanjutan.

Permasalahan utama yang dihadapi oleh pesantren adalah belum optimalnya pengelolaan limbah kotoran sapi dan belum adanya pemanfaatan limbah sebagai sumber energi alternatif. Reaktor biogas berbahan fiberglass yang selama ini digunakan sering mengalami kerusakan, sulit diperbaiki, dan memerlukan biaya perawatan tinggi. Berdasarkan hasil diskusi dan survei dengan mitra, reaktor biogas berbahan beton dinilai lebih sesuai karena biaya konstruksinya lebih rendah, mudah dirawat, dan dapat dibuat dengan bahan serta tenaga kerja lokal sehingga bersifat lebih adaptif dan berkelanjutan.

Hasil riset (Widodo dkk., 2020) menunjukkan bahwa reaktor biogas berbahan beton memiliki durabilitas lebih tinggi dan biaya konstruksi 30–40% lebih rendah dibandingkan fiberglass. Uji coba sebelumnya juga membuktikan peningkatan efisiensi konversi limbah menjadi biogas hingga 20% lebih baik dibandingkan sistem konvensional. Selain itu, masyarakat lebih menerima teknologi berbasis beton karena familiar dengan material dan proses konstruksinya, sehingga aspek sosial dan keberlanjutan dapat lebih terjamin.

Jenis reaktor biogas yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah model BiRU/Hivos, yang terbuat dari batu bata dan kubah beton. Walau cukup tahan lama, reaktor BiRU memerlukan waktu dan biaya tinggi karena seluruh konstruksi kubah dilakukan manual menggunakan cetakan tanah. Selain itu, kebutuhan lahan yang luas menjadi kendala bagi peternak dengan lahan terbatas.

Oleh karena itu, kegiatan PkM ini bertujuan untuk mengimplementasikan reaktor biogas berbahan beton dengan desain yang kompak sebagai solusi pengelolaan limbah peternakan sapi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, sekaligus meningkatkan kapasitas pesantren dan masyarakat dalam pemanfaatan energi terbarukan. Program ini juga mengusung transfer teknologi melalui pendampingan teknis dari CV. Anugrah Triple Cycle guna memastikan keberlanjutan operasional reaktor biogas dan meningkatkan kemandirian masyarakat. Kolaborasi multidisiplin antara bidang teknik sipil, lingkungan, mesin, dan teknik kimia, serta pemberdayaan masyarakat menjadi kunci dalam pelaksanaan program ini.

Untuk menilai efektivitas dan keberlanjutan implementasi program, dilakukan asesmen pelaksanaan instalasi biogas menggunakan pendekatan *Implementation Performance Index (IPI)*. Metode ini digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan kegiatan berdasarkan aspek teknis, manajerial, dan sosial, termasuk efektivitas desain reaktor, keterlibatan mitra, efisiensi sumber daya, serta dampak terhadap lingkungan dan masyarakat. Hasil perhitungan IPI dapat menjadi dasar evaluasi keberhasilan implementasi reaktor tersebut di Pondok Pesantren Cipulus, sekaligus menilai potensi replikasi teknologi di lokasi lain dengan kondisi serupa.

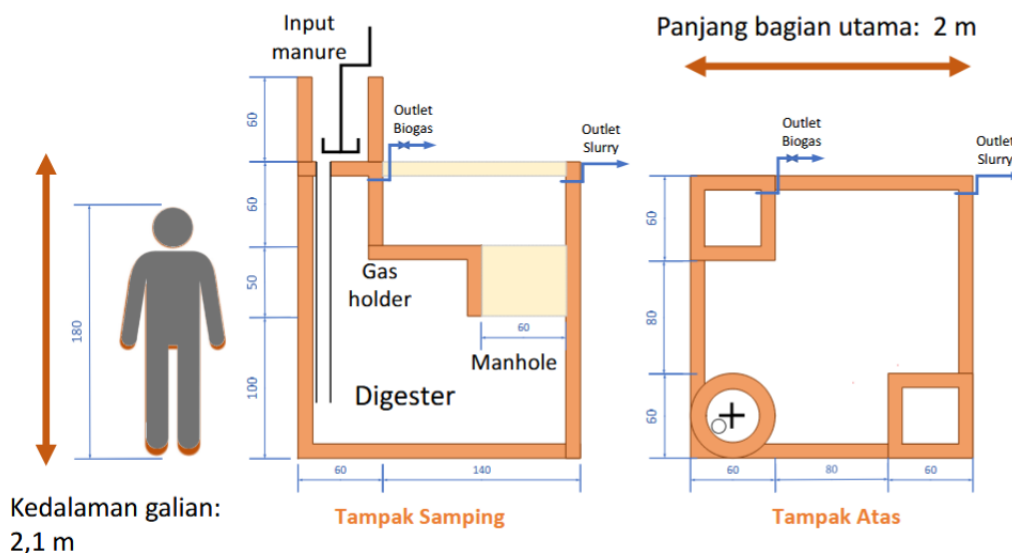
2. METODOLOGI

Pada bagian ini disampaikan mengenai dua bagian utama. Bagian pertama menjelaskan tentang detail solusi permasalahan yang ditawarkan serta tahapan-tahapan pelaksanaannya. Bagian kedua menjelaskan metode evaluasi kegiatan yang digunakan terhadap pelaksanaan instalasi reaktor biogas.

2.1 Detail Solusi yang Ditawarkan dan Tahapan Pelaksanaannya

Desain reaktor concrete compact memiliki keunggulan dalam kemudahan konstruksi, penggunaan material lokal (beton), biaya yang lebih ekonomis, serta kemudahan perawatan dibandingkan dengan reaktor berbahan fiberglass. Dengan dimensi yang lebih ringkas, reaktor ini tetap dapat menghasilkan volume biogas optimal sesuai jumlah limbah peternakan sapi mitra (Suryani, 2023).

Pengembangan desain dilakukan melalui Focus Group Discussion (FGD) yang melibatkan tim ahli, mitra, dan masyarakat pengguna. Kegiatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan teknis, menyesuaikan desain dengan kondisi lapangan, serta memastikan proses *transfer teknologi* berjalan efektif. Hasil dari FGD dituangkan dalam *blueprint* desain final yang kemudian diaplikasikan di lokasi mitra. Sketsa



Gambar 1 Sketsa biogas concrete compact reactor

Tim merancang desain baru reaktor concrete compact berbentuk kotak (rectangular) dengan sistem gas holder datar (flat top). Komponen outlet ditempatkan di atas reaktor untuk menghemat lahan, sementara dinding dan dasar biodigester dibuat dari beton bertulang K-300 dengan tulangan wire mesh Ø8 mm dan ketebalan 8–10 cm. Komponen pendukung seperti input mixer, pipa distribusi gas, water trap, kompor biogas, dan manometer air tetap mengacu pada desain BiRU agar mudah dioperasikan oleh

pengguna yang sudah familiar. Desain ini juga mempertahankan prinsip kerja reaktor anaerobik yang telah terbukti efektif, namun dengan pendekatan yang lebih sederhana dan lokal.

Sementara itu, proses penerapan solusi meliputi tahapan berikut:

1. Perancangan dan simulasi desain reaktor concrete compact berdasarkan hasil penelitian terdahulu dan praktik terbaik di lapangan.
2. Focus Group Discussion (FGD) dengan mitra, masyarakat, dan tenaga ahli untuk menyesuaikan desain dengan kebutuhan teknis dan sumber daya lokal.
3. Sosialisasi dan pelatihan teknis bagi mitra dan masyarakat mengenai konstruksi, pengoperasian, dan perawatan reaktor biogas.
4. Pembangunan fisik reaktor di Pondok Pesantren Cipulus dan CV. Anugrah Triple Cycle dengan melibatkan tenaga kerja lokal.
5. Monitoring dan evaluasi kinerja reaktor secara periodik melalui pengukuran volume biogas, efisiensi konversi limbah, serta dampak lingkungan.
6. Penyusunan modul dan SOP operasional sebagai panduan keberlanjutan pengelolaan dan replikasi teknologi di masyarakat.

2.2 Evaluasi Implementasi Menggunakan Implementation Performance Index (IPI)

Untuk menilai keberhasilan implementasi program PkM ini, digunakan metode Implementation Performance Index (IPI) yang mengukur efektivitas pelaksanaan dari aspek teknis, manajerial, dan sosial (Hernandez dkk., 2019). Namun demikian, pengukuran keberhasilan implementasi program PkM ini hanya dibatasi pada aspek manajerial yang terkait efisiensi waktu dan biaya. Keberhasilan implementasi terkait efisiensi waktu sesuai metode yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Indikator penilaian untuk aspek manajerial terkait efisiensi waktu

Indikator Penilaian	Singkatan	Rumus
Total Execution Rate (laju eksekusi total)	TER	(Kegiatan terlaksana / total)
Schedule Adherence (kesesuaian jadwal)	SA	(Sesuai jadwal / total)
Duration Adherence (kesesuaian durasi)	DA	(Sesuai durasi / total)
Non-Execution Rate (tidak terlaksana)	NE	(Belum terlaksana / total)
Implementation Performance Index (indeks kinerja penerapan)	IPI	$0.5 \times TER + 0.3 \times KJ + 0.2 \times KD$

Tabel 2 Rentang nilai dan kategori penilaian untuk aspek manajerial terkait efisiensi waktu

Rentang Nilai	Kategori	Keterangan
90–100%	Sangat baik	Hampir semua kegiatan sesuai jadwal
70–89%	Baik	Sebagian besar kegiatan terlaksana tepat waktu
50–69%	Cukup	Banyak kegiatan bergeser dari jadwal
<50%	Kurang	Pelaksanaan tidak sesuai rencana

Sementara itu, keberhasilan implementasi terkait efisiensi biaya memakai 5 Indeks Evaluasi Keuangan Program berikut:

1. IKP – Indeks Kepatuhan terhadap RAB
2. IKE – Indeks Kesesuaian Eksekusi (relevansi kegiatan)
3. IEF – Indeks Efisiensi Finansial
4. IMD – Indeks Manfaat Dana (kontribusi ke output)
5. IAK – Indeks Akuntabilitas (kelengkapan bukti dan transparansi)

dengan menggunakan rentang 1-5, yaitu sesuai pada Tabel 3.

Tabel 3 Rentang skor dan kriteria penilaian untuk aspek manajerial terkait efisiensi biaya

Skor	Kriteria
5	Sangat baik / optimal / sesuai RAB dan tujuan
4	Baik / sedikit deviasi, masih wajar
3	Cukup / deviasi sedang, masih dapat diterima
2	Kurang / pembengkakan tinggi namun rasional
1	Tidak sesuai / tidak akuntabel

Hasil perhitungan IPI akan menjadi dasar evaluasi keberhasilan implementasi reaktor biogas concrete compact di Pondok Pesantren Cipulus, sekaligus menilai potensi replikasi teknologi di lokasi lain dengan kondisi serupa.

3. PELAKSANAAN

3.1 Persiapan Awal, Survei Lokasi, dan Focused Group Discussion (FGD)

Tahap persiapan kegiatan diawali dengan koordinasi antara tim pelaksana PkM Institut Teknologi Nasional Bandung, mitra penerima teknologi Pondok Pesantren Cipulus, dan mitra pendukung teknologi PT. Anugrah Triple Cycle. Ketiga pihak terlibat secara aktif dalam beberapa kali diskusi dan peninjauan lapangan untuk memastikan kesesuaian lokasi, kesiapan teknis, serta rencana implementasi teknologi reaktor biogas.

Dalam tahap awal ini, tim melakukan survei lokasi untuk menilai kelayakan lahan dan infrastruktur pendukung. Hasil survei menunjukkan bahwa lokasi yang disediakan pihak pesantren berada di area lereng dengan akses terbatas, sehingga berimplikasi terhadap kesulitan mobilisasi bahan bangunan dan kebutuhan modifikasi desain reaktor. Selain itu, ditemukan kendala lain berupa ketidakpastian pasokan kotoran sapi, karena jenis sapi yang dipelihara merupakan sapi potong (pedaging) yang tidak selalu tersedia setiap waktu akibat sistem pemeliharaan yang mengikuti siklus penjualan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, tim bersama CV. Anugrah Triple Cycle melakukan serangkaian Focused Group Discussion (FGD) dengan agenda:

1. Menentukan lokasi alternatif yang secara teknis lebih memungkinkan untuk pembangunan instalasi biogas.
2. Melakukan uji coba produksi gas dengan miniatur biogas skala 1:125, guna memperkirakan laju produksi biogas harian dan validasi rancangan desain awal.
3. Melakukan studi tekno-ekonomi dengan mempertimbangkan beberapa opsi desain reaktor, yaitu tipe *full concrete*, *semi concrete*, *full buried*, dan *semi buried*, yang masing-masing memiliki konsekuensi teknis dan biaya yang berbeda.

Hasil FGD menyimpulkan bahwa perlu dipertimbangkan lokasi alternatif di peternakan sapi perah, yang memiliki ketersediaan limbah ternak lebih kontinyu. Mitra pesantren menyatakan kesediaan untuk tetap menjadi penerima manfaat dan pengguna teknologi, sementara tim PkM dan CV. Anugrah Triple Cycle berkomitmen menyesuaikan desain dan pendekatan teknologi agar lebih kontekstual dengan kondisi lapangan.

3.2 Sosialisasi dan Peningkatan Pemahaman Mitra

Tahap sosialisasi dilaksanakan untuk meningkatkan pemahaman dan membangun kepercayaan mitra terhadap teknologi biogas yang akan diterapkan. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi awal,

mitra pesantren memiliki keraguan (trust issue) terhadap efektivitas dan dampak teknologi biogas. Kekhawatiran utama yang muncul antara lain adalah kemungkinan timbulnya bau tidak sedap, kesulitan pengoperasian, serta ketidakberlanjutan operasi akibat kompleksitas sistem dan keterbatasan sumber daya manusia di lingkungan pesantren.

Tim PkM melakukan kegiatan sosialisasi kepada pihak pengelola pesantren, santri, dan masyarakat sekitar dengan pendekatan edukatif. Dalam kegiatan ini, tim menjelaskan bahwa sistem biogas tidak hanya menghasilkan energi gas untuk keperluan dapur pesantren, tetapi juga menghasilkan pupuk cair organik yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian atau penghijauan lingkungan pesantren. Dengan demikian, teknologi ini memiliki nilai tambah ekonomi dan lingkungan.

Selain isu teknis, muncul pula kekhawatiran terkait penambahan beban kerja dalam kegiatan rutin pesantren. Mitra khawatir sistem biogas akan memerlukan waktu dan tenaga tambahan dalam pengoperasian maupun perawatan. Untuk mengatasi hal tersebut, tim pelaksana menekankan bahwa desain yang akan diterapkan merupakan sistem sederhana berbahan beton, dengan mekanisme operasi yang mudah dipelajari dan dirawat oleh masyarakat lokal. Pelatihan teknis dan pendampingan lapangan juga dijadwalkan secara berkala agar keberlanjutan operasional dapat terjamin.

Kendala lainnya yang dihadapi mitra adalah keterbatasan lahan di sekitar area kandang, sehingga diperlukan inovasi desain reaktor yang lebih kompak dan efisien secara ruang, tanpa mengurangi kapasitas produksi gas. CV. Anugrah Triple Cycle kemudian menyesuaikan rancangan reaktor agar dapat diimplementasikan di area sempit dengan sistem pipa dan tangki yang mudah diakses untuk perawatan.

Melalui proses sosialisasi dan diskusi intensif ini, pihak pesantren menunjukkan peningkatan penerimaan terhadap teknologi, memahami manfaat ekonomis dan ekologisnya, serta bersedia berpartisipasi aktif dalam tahap pembangunan dan pengoperasian biogas. Kegiatan ini menjadi landasan penting bagi tahap selanjutnya, yaitu konstruksi dan uji coba reaktor biogas berbahan beton di lingkungan pesantren.

3.3 Implementasi dan Uji Coba Prototipe

Tahapan implementasi dilakukan setelah kesepakatan bersama antara tim pelaksana, mitra pesantren, dan CV. Anugrah Triple Cycle mengenai lokasi serta bentuk konstruksi digester biogas yang paling sesuai. Berdasarkan hasil survei dan kajian teknis, diputuskan untuk melakukan uji coba dengan model skala miniatur (1:125) sebelum pembangunan penuh, guna memastikan parameter desain dan laju produksi gas yang diharapkan.

Prototipe ini digunakan untuk mengamati rasio input-output limbah ternak, waktu retensi, serta kestabilan proses fermentasi. Hasil uji menunjukkan bahwa laju produksi biogas berada pada kisaran yang stabil untuk kondisi bahan campuran yang mengandung kotoran sapi dan limbah organik lainnya. Temuan ini menjadi dasar perhitungan kapasitas reaktor yang akan diterapkan di lapangan.

Pada tahap ini juga dilakukan pelatihan teknis kepada operator mitra, meliputi pengisian bahan, pengadukan, pemantauan tekanan gas, serta perawatan instalasi sederhana. Hal ini penting untuk memastikan keberlanjutan sistem biogas di lokasi mitra setelah program selesai.

3.4 Evaluasi dan Umpan Balik Mitra

Hasil kegiatan sosialisasi dan implementasi menunjukkan peningkatan pemahaman mitra terhadap manfaat sistem biogas. Mitra mulai menyadari bahwa teknologi ini tidak hanya menghasilkan energi alternatif berupa gas untuk keperluan memasak atau penerangan, tetapi juga pupuk organik cair (slurry) yang memiliki nilai ekonomi tambahan.

Namun, berdasarkan evaluasi lapangan, beberapa kendala masih ditemukan:

- Aksesibilitas lahan di area lereng membuat proses pembangunan dan transportasi material memerlukan waktu serta tenaga tambahan.
- Kontinuitas bahan baku masih menjadi isu utama karena jenis sapi pedaging tidak menghasilkan limbah secara stabil setiap hari.
- Keterbatasan sumber daya manusia dalam pengelolaan sistem biogas, terutama pada tahap awal adaptasi.

Meskipun demikian, umpan balik dari pihak mitra secara umum positif. Mereka menilai kegiatan ini memberi wawasan baru terkait pemanfaatan limbah menjadi energi, serta membuka peluang pengembangan ekonomi pesantren berbasis teknologi ramah lingkungan.

3.4 Asesmen Indeks Kinerja Implementasi (*Implementation Performance Index*)

Tabel 4 Jadwal yang Direncanakan dan Pelaksanaannya dalam Implementasi Biogas Concrete Compact Reactor

No	Kegiatan	Bulan Pelaksanaan (2025)					
		Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt
1	Koordinasi awal dan perencanaan	☑					
2	Survei lapangan dan pengumpulan data	☒	☑				
3	FGD dan finalisasi desain reaktor		☑	✓	✓		
4	Pengadaan bahan dan logistik			☑	☑	✓	
5	Sosialisasi dan pelatihan teknis			☒	☒	✓	
6	Pembangunan dan instalasi reaktor				☒	☑	✓
7	Uji coba operasional dan commissioning				☒	☑	✓
8	Monitoring dan evaluasi				☒	☑	☑
9	Pendampingan dan troubleshooting				☒	☑	☑
10	Dokumentasi luaran (video, poster, laporan)					☑	☑
☑ Kegiatan terlaksana sesuai rencana : 13							
✓ Kegiatan terlaksana di luar rencana : 7							
☒ Kegiatan tidak terlaksana : 6							

Tabel 5 Hasil Penilaian Indeks Kinerja Implementasi Biogas Concrete Compact Reactor

Indikator	Rumus	Nilai	Keterangan
TER	(20/26)	0.77	Eksekusi baik
SA	(13/26)	0.5	Ketepatan jadwal cukup
DA	(13/26)	0.5	Durasi pelaksanaan cukup
NE	(6/26)	0.23	Tidak terlaksana rendah (baik)
IPI	$0.5 \times \text{TER} + 0.3 \times \text{SA} + 0.2 \times \text{DA}$	0.63	Kinerja sedang (cukup baik)

Berdasarkan Tabel 5, implementasi biogas concrete compact reactor ini menunjukkan tingkat eksekusi yang tinggi (77%) yang artinya sebagian besar kegiatan berjalan. Namun, ketepatan jadwal (50%) masih rendah karena beberapa kegiatan dilaksanakan lebih lambat. Selain itu, durasi pelaksanaan cukup

(50%) karena terkadang lebih panjang dari rencana yang menunjukkan adanya dinamika lapangan. Secara keseluruhan, nilai IPI untuk kegiatan ini adalah 63% yang menunjukkan kinerja pelaksanaan program cukup baik namun belum optimal terutama pada perencanaan waktu.

Tabel 6 Rekapitulasi Penggunaan Dana: RAB dan Realisasinya dalam Implementasi Biogas Concrete Compact Reactor

No.	Komponen Biaya	RAB (Rp)	Realisasi (Rp)	% Realisasi
1	Bahan Habis Pakai	10.000.000	10.571.600	105,7%
2	Perjalanan	3.500.000	7.056.800	201,6%
3	Sewa	1.500.000	1.502.400	100,2%
4	Lain-lain	2.500.000	0	0,0%
Total		17.500.000	19.130.800	109,3%

Tabel 6 Hasil Indeks Penggunaan Dana dalam Implementasi Biogas Concrete Compact Reactor

No.	Komponen Biaya	IKP	IKE	IEF	IMD	IAK	Penilaian Singkat
1	Bahan Habis Pakai	4	5	4	5	4	Wajar
2	Perjalanan	2	5	3	4	3	Tidak efisien
3	Sewa	5	5	5	4	4	Sangat sesuai rencana
4	Lain-lain	5	4	5	4	5	Tidak terpakai
Total		4,0	4,8	4,3	4,3	4,0	Kelebihan 9,3% (Wajar)

Analisis penggunaan dana menunjukkan bahwa komponen perjalanan yang meliputi ongkos kerja pegawai mengalami peningkatan signifikan, yaitu lebih dari dua kali lipat dari RAB yang direncanakan. Kenaikan ini disebabkan oleh lokasi mitra yang berada di area lereng dan berjauhan dari pusat kota, sehingga memerlukan frekuensi kunjungan lebih sering untuk koordinasi teknis. Selain itu, alokasi sebagian besar dana perjalanan digunakan untuk ongkos kerja tenaga lapangan dalam pengangkutan material dan pelaksanaan kegiatan di lokasi mitra. Sementara itu, penggunaan bahan habis pakai sedikit melebihi rencana karena penyesuaian kebutuhan material uji coba dan alat pendukung monitoring gas. Adapun komponen “lain-lain” tidak digunakan karena pos tersebut dialihkan untuk mendukung pelaksanaan kegiatan teknis utama. Secara umum, penggunaan dana dinilai efisien dan proporsional terhadap capaian kegiatan, dengan rata-rata indeks penggunaan dana mencapai 4,28/5. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan dana masih dalam batas wajar untuk kegiatan berbasis lapangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi pelaksanaan dan analisis penggunaan dana, kegiatan implementasi biogas concrete compact reactor dapat dikatakan berjalan dengan cukup baik dan efisien, meskipun belum sepenuhnya optimal dalam aspek ketepatan waktu. Nilai IPI sebesar 63% mencerminkan kinerja pelaksanaan yang stabil dengan tingkat eksekusi tinggi, sementara indeks penggunaan dana 4,28/5 menunjukkan pengelolaan anggaran yang proporsional terhadap capaian kegiatan di lapangan. Penyesuaian biaya perjalanan dan bahan habis pakai menjadi konsekuensi logis dari kondisi geografis lokasi mitra serta kebutuhan teknis tambahan selama proses implementasi. Secara keseluruhan, program ini berhasil mencapai tujuan utama pengujian dan penerapan teknologi biogas, sekaligus memberikan pembelajaran penting untuk peningkatan efektivitas waktu dan perencanaan kegiatan pada tahap berikutnya.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Nasional Bandung atas dukungan pendanaan yang telah diberikan melalui Program Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2025. Dukungan ini berperan penting dalam keberhasilan pelaksanaan kegiatan. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Pondok Pesantren Maulana Al-Karim, Cipulus Bandung selaku mitra utama yang telah memberikan kesempatan, waktu, dan kerja sama selama kegiatan berlangsung, serta kepada CV. Anugrah Triple Cycle atas kontribusi teknologinya dalam pengembangan dan pendampingan penerapan reaktor biogas. Semoga hasil kegiatan ini dapat memberikan manfaat nyata bagi seluruh pihak yang terlibat dan menjadi langkah berkelanjutan menuju kemandirian energi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ananda Muhamad Tri Utama. Potensi Pengelolaan Limbah Ternak Sapi Berbasis Circular Economy di Kabupaten Bandung untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. *J Syntax Fusion*. 2022;9(11):356–63.
- [2] Setyobudi RH, Wahyudi A, Vincēviča-gaile Z. Akademia Baru Study of Biorefinery Capsule Husk from *Jatropha curcas* L . Waste Crude *Jatropha* Oil as Source for Biogas Akademia Baru. 2017;1(1):6–12.
- [3] Abera F. Comparative Life Cycle Impact Mortar- Brick and Fiberglass Reinforced Household Bio-Digesters. 2020;
- [4] Nasution M. Smart-Design Instalasi Digester Biogas Skala Komunal Pesantren High Temperature. *Agregat*. 2020;5(2):475–80.
- [5] Seethamraju R. Effectiveness of Using Online Discussion Forum for Case Study Analysis. *Educ Res Int*. 2014;2014:1–10.
- [6] Formanek SD, Cozzarin BP. Technology adoption and training practices as a constrained shortest path problem. *Omega U K*. 2013;41(2):459–72.