

PENGOLAHAN BIOGAS DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT (POME)* BERKONSEP *ZERO WASTE* BERBASIS *INTEGRATION SYSTEM* DAN *CIRCULAR ECONOMY*

Oleh:

- Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng
- Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc.
- Aisyah Alifatul Z. R., S.T., M.T.



TUJUAN PENELITIAN



1

Minimnya Pemanfaatan Limbah POME. Limbah POME dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berpotensi menghasilkan emisi gas metana (CH_4) yang **25 kali** lebih berbahaya daripada karbon dioksida (CO_2).

Biogas
(CH_4 , H_2S ,
 CO_2)

2

Belum adanya pemanfaatan hasil impurities biogas (CO_2 dan H_2S). Impurities biogas, menyebabkan kadar CH_4 yang dihasilkan rendah, maka harus dilakukan purifikasi. **CO_2 dapat dibentuk menjadi CaCO_3** **H_2S dapat dibentuk menjadi Sulfur**



3

Pentingnya Pemanfaatan produk samping pengolahan biogas berupa bioslurry. Biogas selain menghasilkan gas CH_4 juga menghasilkan bioslurry, di mana bioslurry ini bisa dijual sebagai **PUPUK** untuk **menunjang perekonomian**

LATAR BELAKANG

PRODUKSI KELAPA SAWIT 2022



Palm Oil Mill Effluent (POME)



Pada **Tahun 2015-2022** limbah POME di Indonesia yang dihasilkan mencapai **98,3 juta m³**

Kementrian Perindustrian, 2022

Kandungan POME

PEMANFAATAN POME

- Bahan bakar PLTBg
- Kultivasi Mikroalga
- Media Fermentasi
- Antibiotik
- Bioinsektisida

Kandungan BOD dan COD menjadi bahan pencemar apabila dibuang langsung ke perairan bebas. Sehingga dapat energi alternatif menjadi biogas

Tabel 1.1. Karakteristik POME Tanpa Diolah dan Baku Mutu Sesuai Peraturan

Parameter	Unit	POME Tanpa Diolah		Baku Mutu Sesuai Peraturan	
		Rentang*	Rata-rata	Sungai**	Aplikasi Lahan
BOD	mg/l	8.200–35.000	21.280	100	5.000
COD	mg/l	15.103–65.100	34.740	350	
TSS	mg/l	1.330–50.700	31.170	250	
Amonia (NH ₃ -N)	mg/l	12–126	41	50***	
Minyak dan Lemak	mg/l	190–14.720	3.075	25	
pH		3,3–4,6	4	6–9	6–9
Maksimal POME yang dihasilkan	m ³ /ton CPO			2,5	

* Sumber: Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Sawit, Departemen Pertanian 2006, Permen LH Nomor 3 Tahun 2010

** Sumber: Keputusan Meneg LH No. 51/1995, Lampiran B.IV

*** Total Nitrogen = Nitrogen Organik + Total Amonia + NO₃ + NO₂

JUSTIFIKASI RISET/PROJECT - PEMBUATAN POME MENJADI BIOGAS



POME



Kotoran Sapi

1

The Influence Analysis of Cow Dung Additional at Biogas Production of Palm Oil Mill Effluent (POME)

- **Kelebihan** : Reaktor tipe batch berpengaduk dengan volume 10 L sehingga campuran dapat homogen dengan kapasitas yang besar
- **Kekurangan** : Selama proses fermentasi, terjadi penurunan pH dan suhu
- **Hasil** : Campuran POME dan kotoran sapi (perbandingan 70:30) pada hari ke-20 menghasilkan kadar biogas paling besar yaitu sebesar 300,25 ppm.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/737/1/012043>

2

Analysis of Potential Biogas Production from a Mixture of Palm Oil Mill Effluent (POME) and Cow Dung

- **Kelebihan** : biodigester menggunakan tipe *fixed dome* dengan total kapasitas 120 liter sehingga mengantisipasi kerusakan fisik dan menghemat ruang
- **Kekurangan** : *loading rate* (penimbunan bahan organik) yang berlebihan menyebabkan bakteri tidak mampu menguraikan senyawa organik sehingga mengganggu proses pemecahan secara anaerobik
- **Hasil** : *Loading rate* 1L/hari menghasilkan biogas sebesar 0,24247 liter/hari dengan total akumulasi produksi biogas selama 25 hari sebesar 6,1 liter.

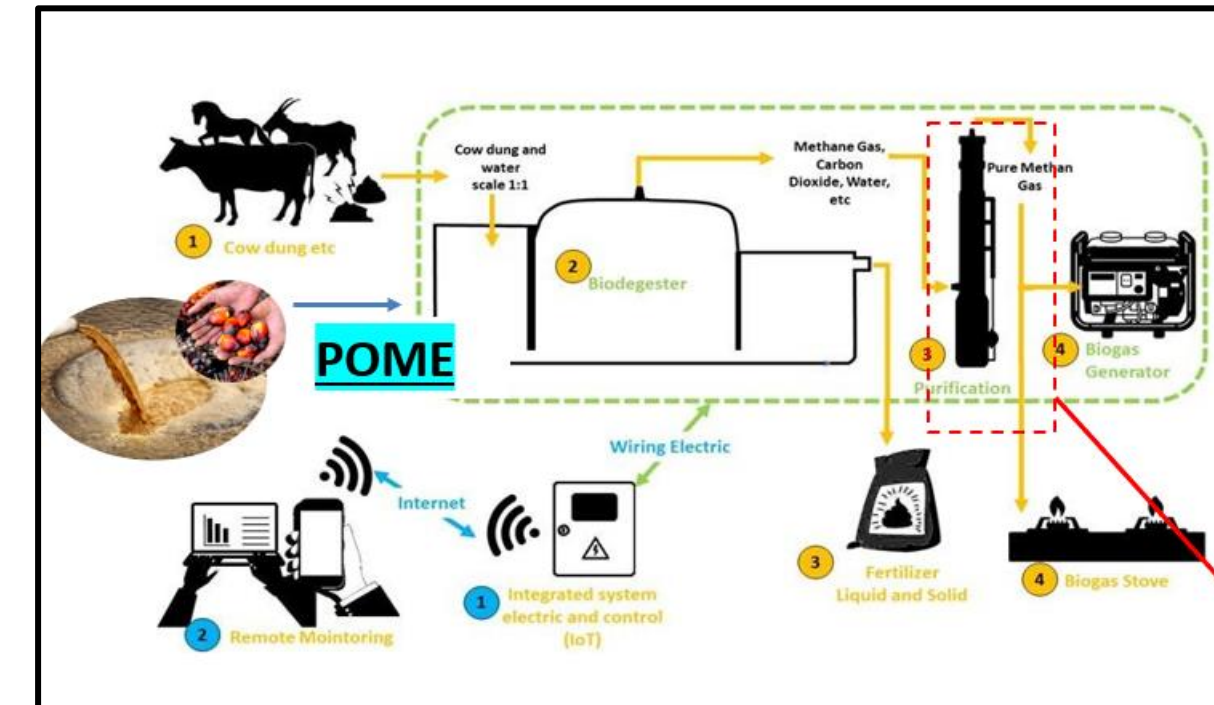
DOI : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131704031>

3

Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment into Biogas with Anaerobic System Type Fixed Bed without Neutralization Process

- **Kelebihan** : Tanpa proses *pre-treatment* (mengurangi biaya investasi/operasi) dan menggunakan reaktor *fixed bed* (mampu dengan kondisi umpan yang berbeda),
- **Kekurangan** : Penurunan temperatur akibat hujan dan tidak beroperasinya pabrik tidak mengakibatkan bakteri langsung mati, tetapi penurunan kinerja yang kurang maksimal, namun reaktor masih bisa dioperasikan ketika umpan POME diberikan
- **Hasil** : Digunakan kotoran sapi dengan mengencerkan kotoran padat sapi dan air dengan perbandingan 1:1. Kandungan gas metan yang dihasilkan 25,43 L per 1L POME dan HRT 20 hari.

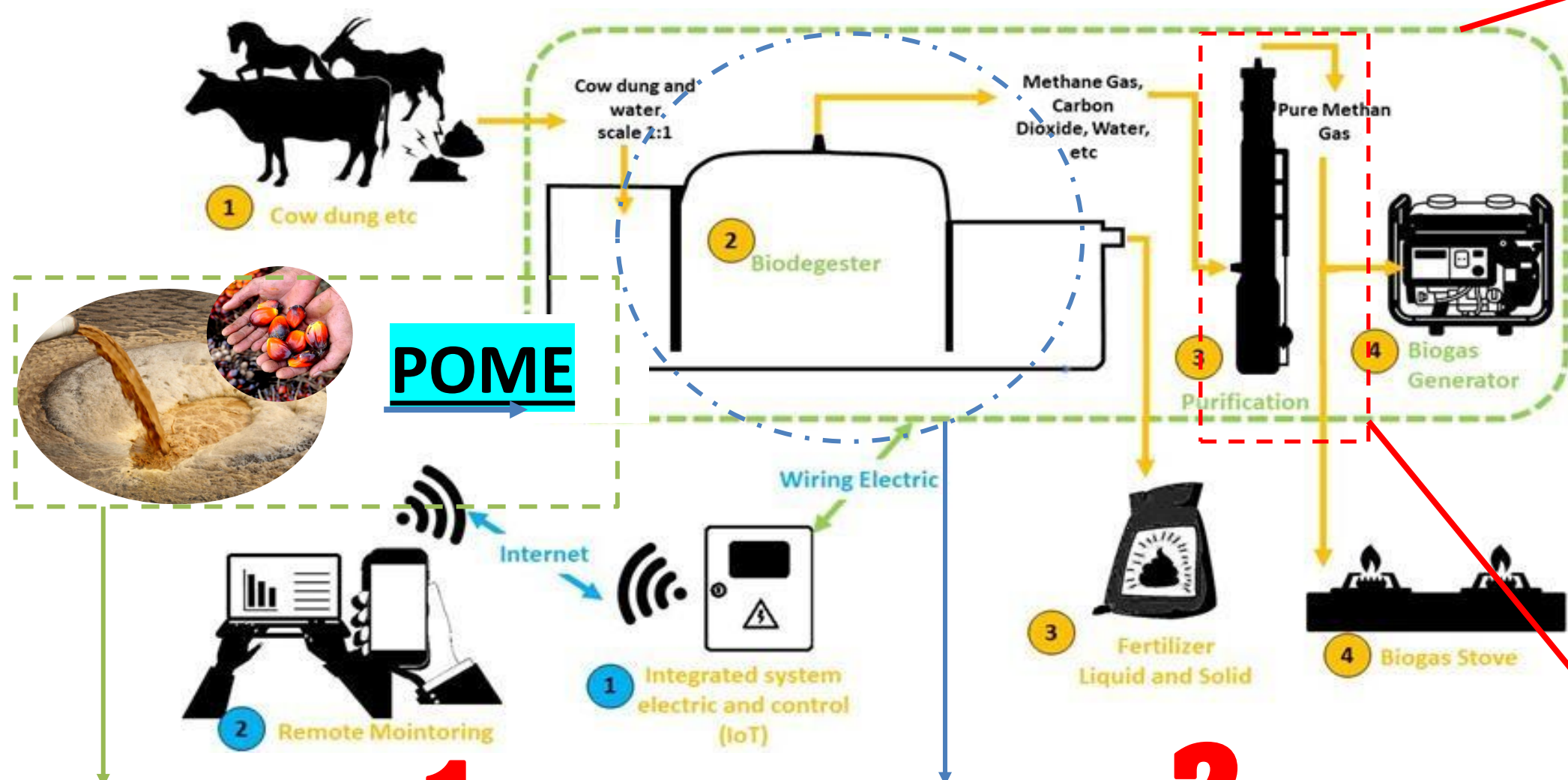
DOI: <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.3250>



Konsep Integration System Biogas dari POME → Produksi bahan baku hingga menjadi biogas dilakukan secara terintegrasi (simultan, kontinyu, dan terkontrol)

1. Biodigester = sebagai reaktor pembentukan biogas
2. Purification = sistem pemurnian CH₄ dari CO₂ dan H₂S
3. Biogas Generator = Pembangkit Biogas untuk dijadikan Listrik
4. IoT (Internet of Things) = Sistem Kontrol Biogas dapat dikendalikan di mana saja

DETAIL SISTEM YANG DIUSULKAN



PRE-TREATMENT POME

Metode :

1. Pengukuran awal untuk mengetahui komposisi kimia dalam POME

Analisa :

1. Uji nilai TVS, kadar carbon (mg/l), kadar nitrogen (mg/l), pH, dan C/N ratio

BIODEGESTER (REAKTOR)

Metode :

1. Pencampuran POME dengan kotoran sapi sesuai ratio, penambahan NaOH untuk penyesuaian pH, pengadukan hingga homogen, dan fermentasi sesuai variabel waktu yang telah ditentukan.

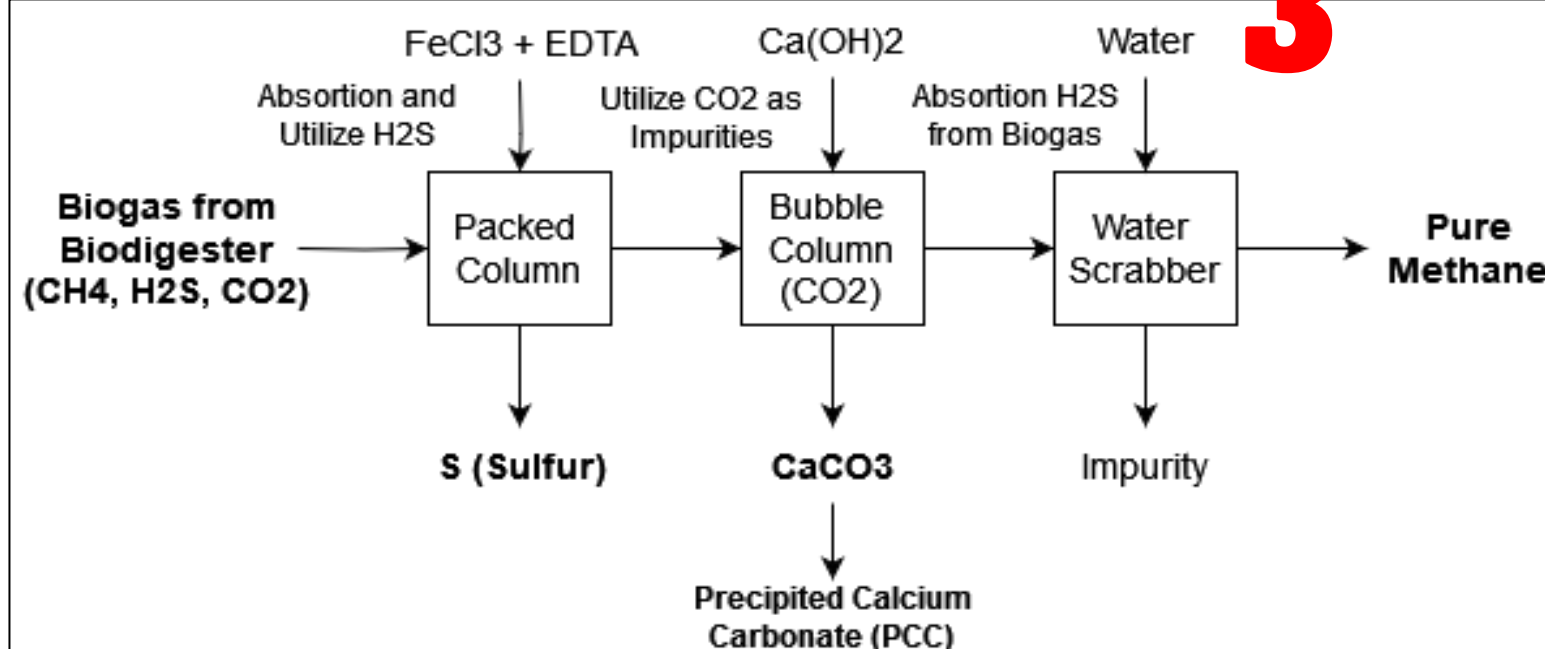
Analisa :

1. Pengukuran Suhu
2. Pengukuran pH
3. Pengukuran kadar Biogas (ppm)

Integration Sistem tambahan melalui Pengontrolan Sistem Jarak Jauh menggunakan Internet of Things

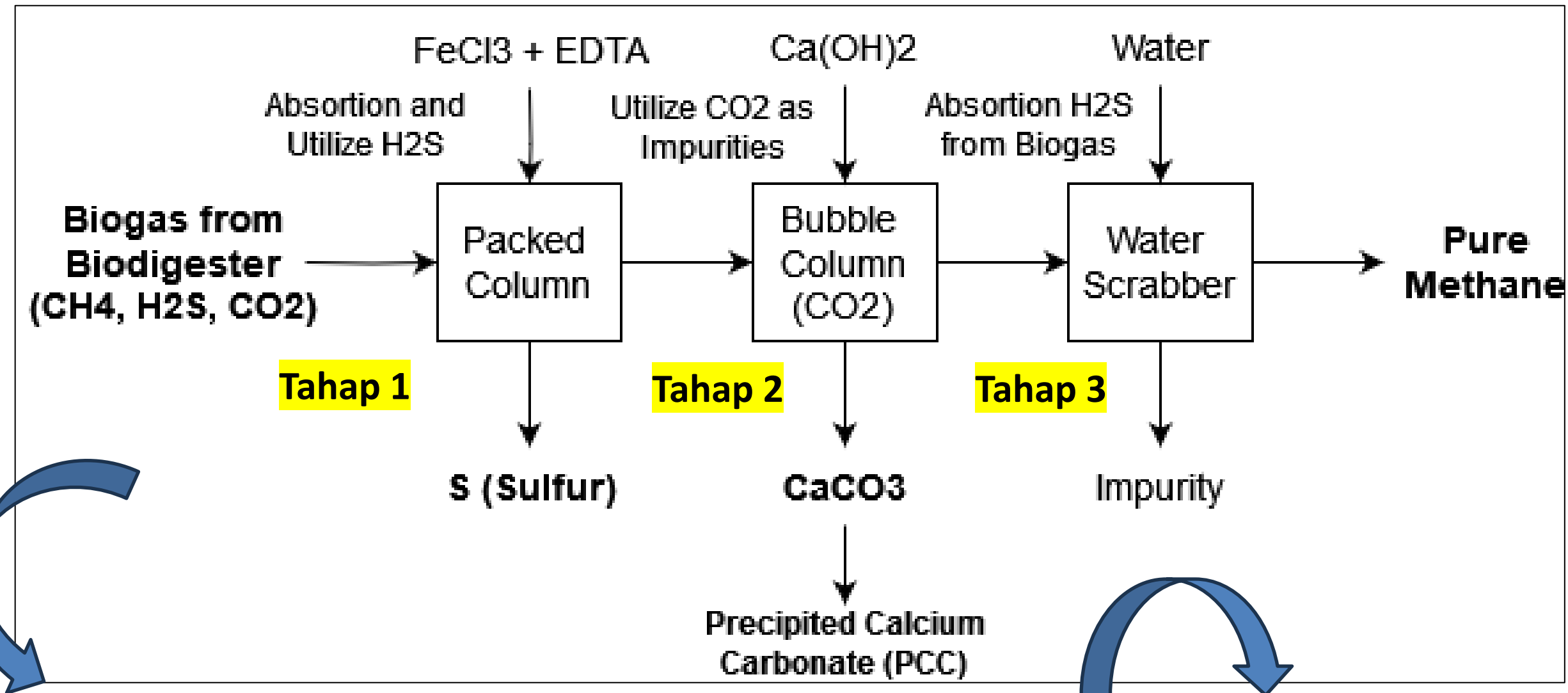
Konsep Zero Waste → Semua limbah peternakan sebagai bahan untuk diolah menjadi beberapa produk yang memiliki *added value* :

1. Bahan Baku terdiri atas Kotoran Sapi (metagenesis) dan Rumen Sapi untuk mendukung acidifikasi
2. Hasil Purifikasi berupa H_2S diolah menjadi S (Sulfur, Belerang) untuk dijual
3. Hasil Purifikasi berupa CO_2 , diolah ditambah $Ca(OH)_2$ menjadi $CaCO_3$ untuk dijual dijadikan PCC, sebagai pemutih kertas
4. Bioslurry, produk samping biogas diolah dijadikan pupuk dan dijual



DETAIL SISTEM YANG DIUSULKAN

Proses Sistem Purifikasi Zero Waste



Tahap 3 :

Pemurnian dengan Water Scrubber

Bertujuan untuk menghilangkan sisa – sisa gas impurities yang belum terabsorpsi pada tahap purifikasi sebelumnya :

Tahap 1 : Absorpsi H₂S dan Dirubah Menjadi Belerang (S, Sulfur)

(Reaksi dengan bantuan FeCl₃ dan Katalis EDTA)

Reaksi pembentukan Belerang : $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{S} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{FeCl}_2 + \frac{1}{2} \text{S} + \text{HCl}$

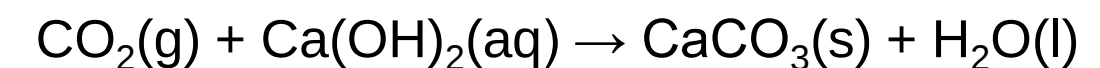
Reaksi Regenerasi FeCl₃ : $\text{HCl} + \text{FeCl}_2 + \frac{1}{4} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeCl}_3 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

****Regenerasi:** FeCl₂ bereaksi dengan HCl sehingga menghasilkan FeCl₃ yang dapat digunakan kembali dalam proses absorpsi.

Tahap 2 : Absorpsi CO₂ dan Dirubah Menjadi CaCO₃

(Reaksi dengan bantuan Ca(OH)₂)

Reaksi pembentukan CaCO₃ :



Terbentuk CaCO₃ kemudian dijual untuk dimanfaatkan menjadi Precipitated Calcium Carbonate (PCC), pemutih kertas

BIG PICTURE RISET/PROJECT – Sistem Circular Economy



BIG PICTURE RISET/PROJECT

[Track Record Penelitian dan Project Tim Inovator]

Detail Kegiatan	2024	2025
Rencana yang Dilakukan	Melakukan Set Biodigester Kapasitas 100 L/batch POME	Scale Up Kapasitas Biodigester dan Optimasi Proses
Luaran	HAKI, Prototipe, Seminar Internasional	HAKI, Prototipe

Rekam Jejak Penelitian :

- Karakterisasi alat biodigester skala laboratorium (Portbale)
- Perancangan sistem biodigester menggunakan limbah sampah
- Karakterisasi temperatur sistem biodigester
- Peningkatan Kualitas Biogas dari Kulit Kopi dengan sistem batch

Rekam Jejak Penelitian :

- Optimisasi sistem kontrol dan monitoring temperatur dan pH biodigester fixed dome
- Performansi produksi biogas dari kulit kopi dengan reaktor semi continous
- Studi efek mikroorganisme pada pretreatment ampas kopi sebagai sumber produksi biogas (doi : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603010>)

Rekam Jejak Project :

- Pengadaan 3 generator set, 3 alat purifikasi dan sistem kontrol biogas

Rekam Jejak Penelitian :

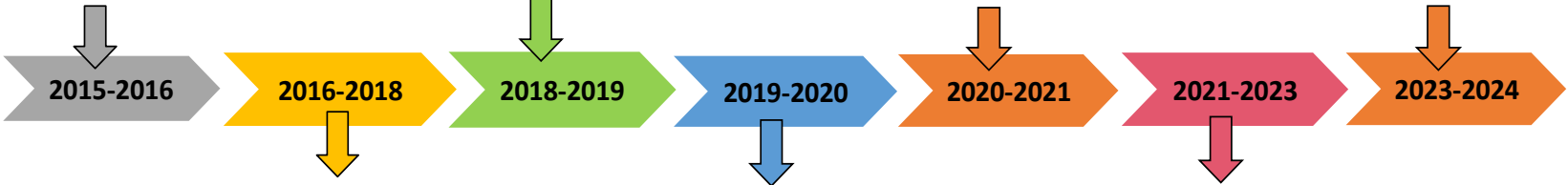
- Perancangan sistem purifikasi biogas otomatis skala industri dengan PLC pengembangan sistem kontrol monitoring generator set
- Studi efek pretreatment AHP pada kulit kakao pada spesifikasi hasil biogas
- Kinerja produksi biogas dari limbah ampas kopi dengan inokulum kotoran sapi dan cairan rumen sapi dalam reaktor batch (doi : [10.2991/aer.k.210603.045](https://doi.org/10.2991/aer.k.210603.045))
- Produksi biogas dari jerami padi menggunakan cairan rumen dan kotoran sapi (doi : <http://repository.lppm.unila.ac.id/id/eprint/28352>)
- Studi efek pretreatment alkali terhadap produktivitas dan kinetika biogas dari limbah kulit buah kakao dengan sistem batch (doi : [10.2991/aer.k.210603.028](https://doi.org/10.2991/aer.k.210603.028))

Rekam Jejak Project :

- Hilirisasi sistem kontrol PLTBg, Pengadaan alat purifikasi biogas, generator set (1000 W), instalasi perpipaan dengan biogas 11 m³, alat purifikasi, dan distilasi minyak atsiri

Rencana yang akan dilakukan :

- Set biodigester fix dome dengan kapasitas 100 Liter POME/batch
- Karakterisasi dan penambahan daya generator set biogas
- Pengujian dan analisa performansi biodigester dan generator set biogas
- Pembuatan modifikasi bioslurry menjadi pupuk untuk dilakukan penjualan
- Pembuatan produk turunan biogas berupa PCC dan belerang untuk dilakukan penjualan



Rekam Jejak Penelitian :

- Perancangan sistem kontrol dan monitoring temperatur biodigester portable
- Implementasi sistem kontrol dan monitoring temperatur pada biodigester fixed dome
- Analisis nilai temperatur maksimal biodigeter fixed dome
- Perancangan sistem storage tank biogas
- Pembuatan Biogas dari kulit kopi dengan kotoran sapi dan cairan rumen reaktor semi batch
- Studi efek jenis bakteri dalam hasil produksi biogas melalui penggunaan kulit kopi
- Produksi biogas dari limbah kulit kopi dengan campuran kotoran sapi dan cairan rumen dalam proses co-digestion (doi : <https://doi.org/10.1063/1.4982341>)

Rekam Jejak Penelitian :

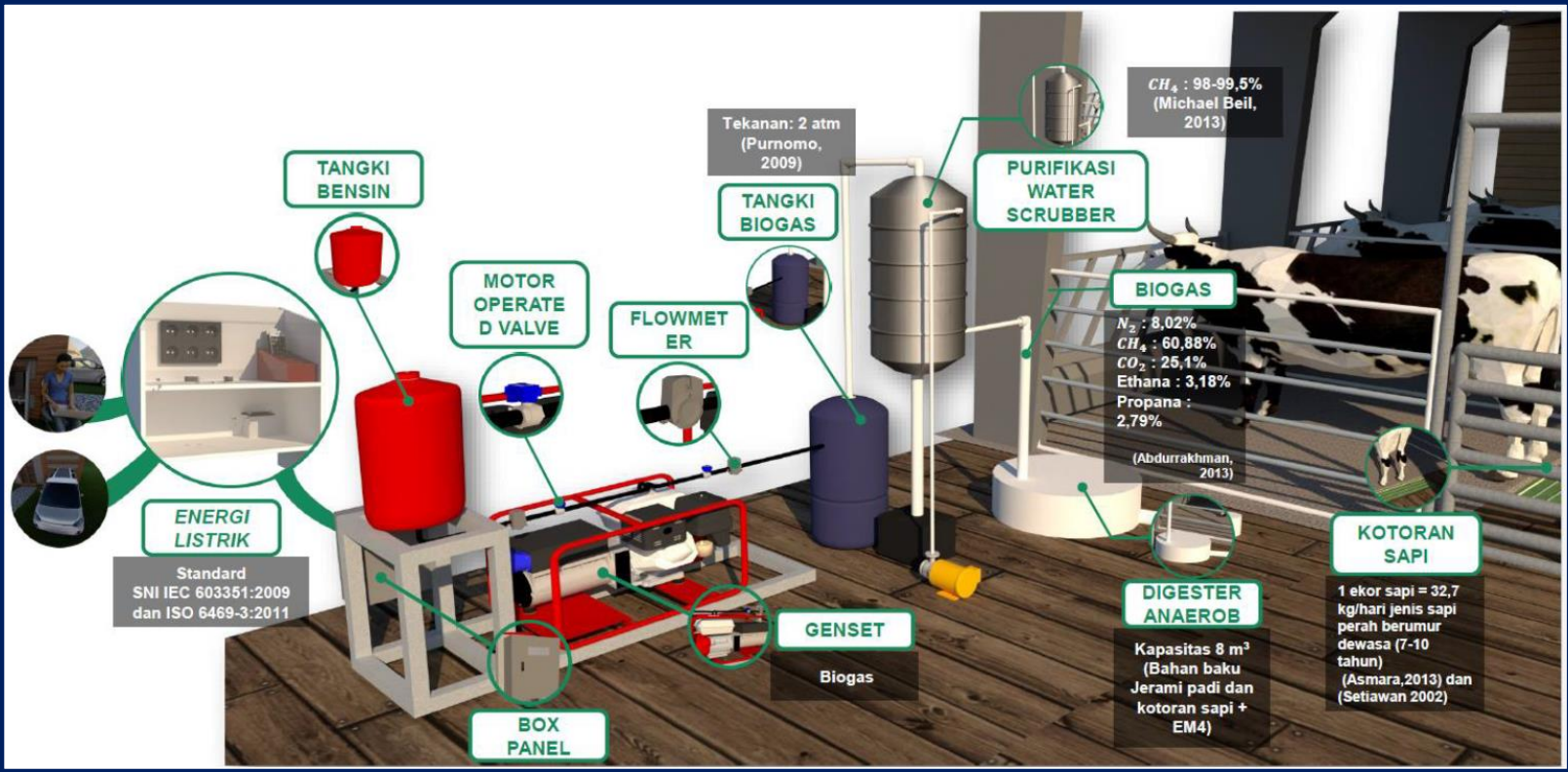
- Pembuatan Biogas dari kulit Kopi dan kakao Reaktor semi-batch kombinasi Rumen Sapi
 - Perancangan alat purifikasi biogas dengan adsorber dan water scrubber
 - Karakterisasi sistem adsorpsi pada water scrubber sistem dan tray trap tower
 - Karakterisasi sistem kontrol Air Fuel Ratio (AFR) pada generator listrik
- Rekam jejak project :**
- Instalasi sistem set biogas dengan generator set biogas 1200 watt

Rekam Jejak Penelitian :

- Karakterisasi biomethane sebagai bahan bakar generator listrik
 - Analisis performansi generator set menggunakan bahan bakar biogas serta karakterisasi sistem kontrol terdistribusi
 - Pembuatan Desain Reaktor Absorber Reaktif
 - Studi pretreatment AHP pada spesifikasi hasil biogas rumen sapi, kotoran sapi dengan kulit kopi dan kakao sistem kontinu
 - Studi efek pretreatment kimiawi untuk mengurangi lignin pada limbah pulp kakao untuk produksi biogas (doi : <https://doi.org/10.1063/5.0051903>)
 - Studi efek pre-treatment kimia dan biologi terhadap produksi biogas dari kulit kopi (doi : <http://dx.doi.org/10.52759/reactor.v4i2.99>)
- Rekam Jejak Project :**
- Instalasi sistem perpipaan untuk penyaluran biogas menuju kompor untuk kebutuhan memasak di ponpes bumi sholawat
 - Proses instalasi di ponpes Gontor
 - Pembuatan Biogas Station
 - Instalasi biogas 3 unit di 1 Ponpes dan 1 desa Lamongan, serta 1 ponpes di Bojonegoro

BIG PICTURE RISET/PROJECT

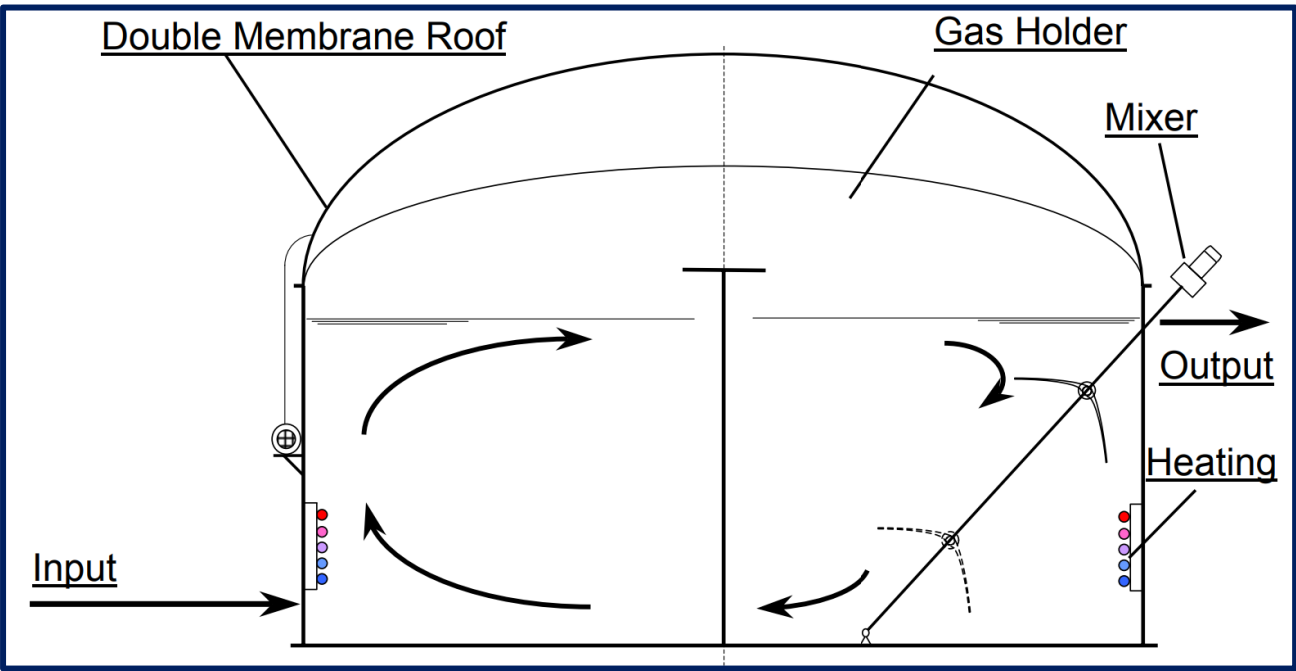
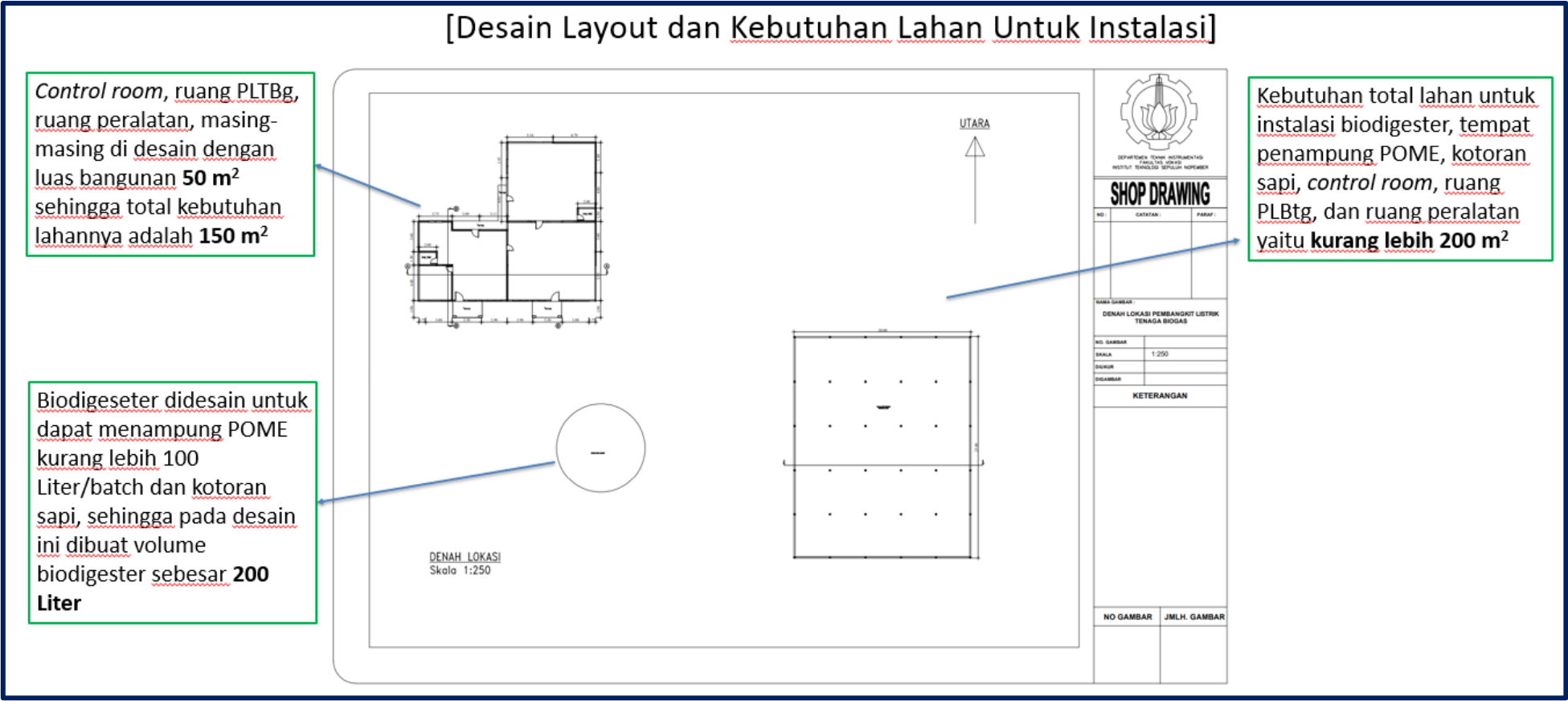
[Biogas Sebagai Sumber Energi untuk Elektrifikasi]



Studi Kasus Energi Listrik yang Dihasilkan 100 Liter POME

- Asumsi 1 Liter POME (konsentrasi 10.000 mg/Liter) = menghasilkan 10 gram COD
- 1 gram COD POME menghasilkan 0,052 m³ gas methane (referensi)
- 1 m³ gas metana setara dengan 11,17 kWh (faktor efisiensi PLTBg, maka menjadi 4,7 kWh)
- Volume produksi gas metana dengan kapasitas 100 Liter POME x (10 g COD/1 Liter POME) x (0.052 m³ methane/1 g COD) = 52 m³ methane
- Sehingga dihasilkan energi listrik E = 52 x 4,7 = 244,4 kWh

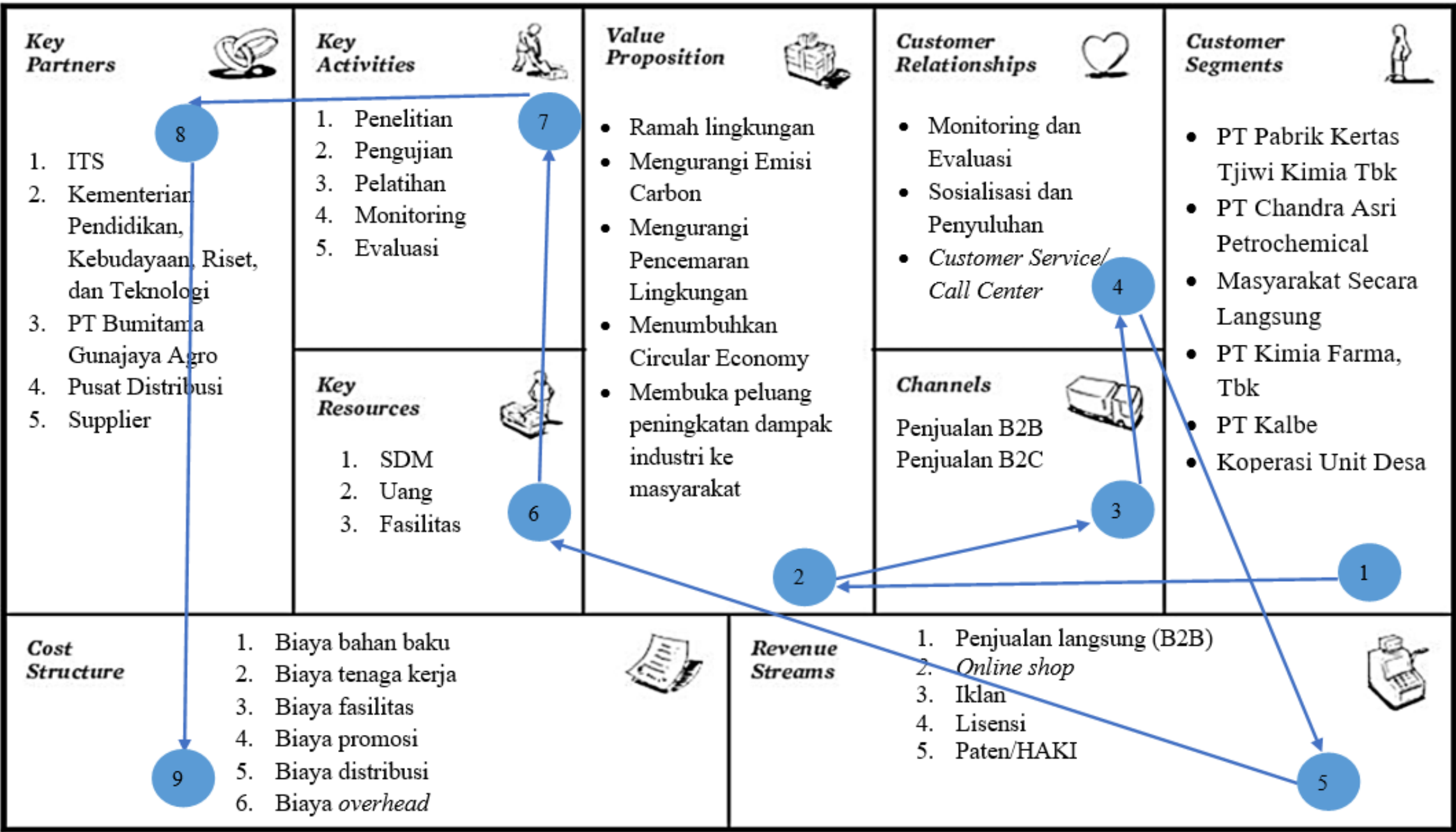
[Desain Layout Kebutuhan Instalasi]



Desain Biodigester

DETAIL SISTEM YANG DIUSULKAN

Business Model Canvas

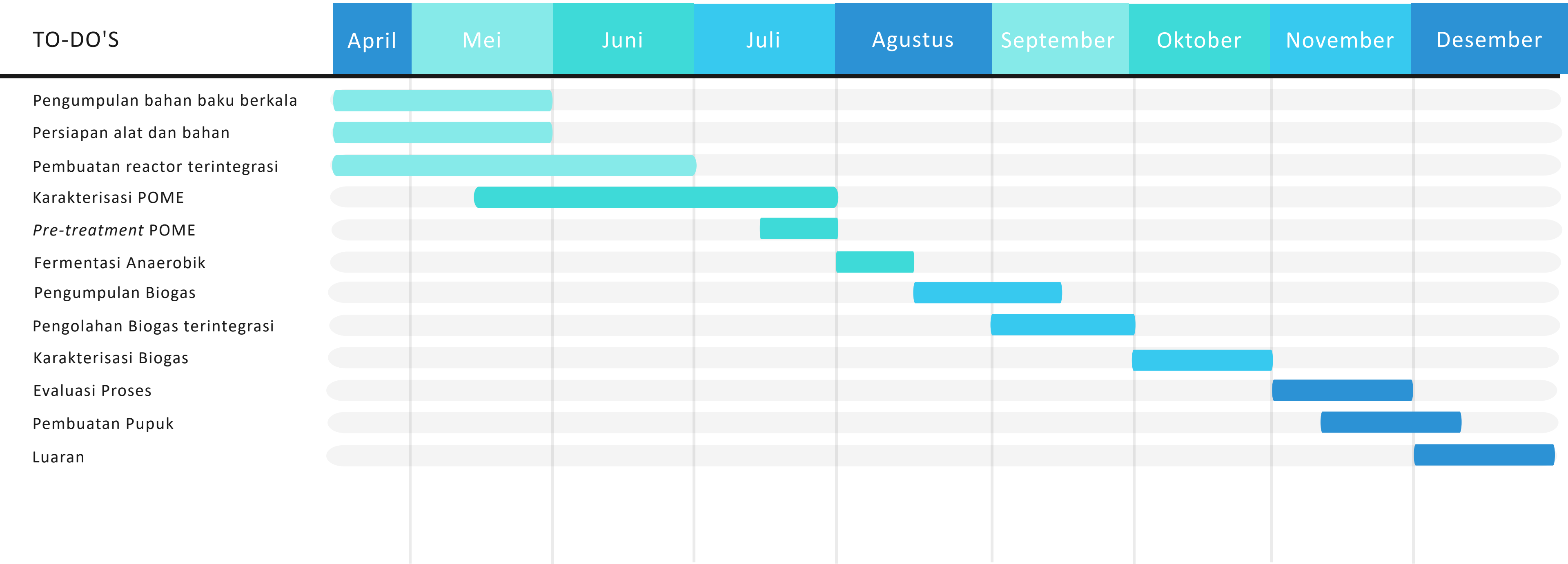


Rencana Anggaran Biaya

No.	Nama Kegiatan	Jumlah (Rp)
1	Fabrikasi Alat	122.000.000
2	Pengadaan Alat dan Bahan	36.450.000
3	Sosialisasi, Operasional Alat dan Maintenance Alat	20.250.000
4	Management	2.500.000
5	Publikasi dan Paten	22.000.000
6	Honorarium Peneliti	30.384.000
7	Honorarium Tenaga Lapangan	13.125.000
8	Pengujian	52.500.000
Total		299.209.000

RAB Detail dapat di akses di :
<https://intip.in/RABBGABiogas>

GANTT CHART PELAKSANAAN



DAMPAK RISET/PROJECT

[Output/ Luaran serta manfaat]

Perspektif Akademik:

1. Inovasi Teknologi sistem PLTBg yang berkelanjutan
2. Pengembangan Keilmuan dan penerapan teknologi sistem kontrol dan IoT
3. Inovasi Pemanfaatan Produk Samping (Limbah) yang menghasilkan nilai ekonomi

Perspektif Industri:

1. Potensi pengolahan produk samping dengan konsep zero waste
2. Potensi revenue dari hasil penjualan produk samping berupa pupuk, PCC, dan Sulfur
3. Menurunkan *cost production* kelistrikan hasil substitusi biogas
4. Mengurangi Emisi Carbon
5. Mengurangi limbah POME sebagai bahan Pencemar

[Sustainability & Replicability]

Output yang dihasilkan dapat digunakan dalam jangka Panjang karena :

1. Melalui contoh penggunaan 100 Liter POME/Batch dapat dihasilkan listrik dengan kapasitas 244 KWh, jika dilakukan pengembangan hingga 1000 Liter POME dan seterusnya, maka bisa menghasilkan energi 2444 KWh, sehingga melalui inovasi ini menghasilkan prospek pemanfaatan energi listrik untuk keperluan operasional Perusahaan.
2. Pengembangan produk turunan berupa Precipitated Calcium Carbonate, saat ini sangat banyak dibutuhkan untuk keperluan industri kertas (pemutih), pengemulsi dan pengisi di industri farmasi, cat, pengatur pH dalam industri makanan, serta berfungsi untuk meningkatkan kekuatan bahan di industri kemasan plastik. Selain itu, PCC banyak digunakan karena ramah lingkungan karena bersifat biodegradable
3. Proses absorbs H_2S akan menghasilkan Sulfur yang banyak penggunaannya di industri, sehingga memudahkan untuk pemanfaatan dan penjualan
4. Bio slurry hasil pengolahan biogas dapat dimanfaatkan menjadi pupuk siap jual dan pupuk olahan sehingga dapat dilakukan penjualan untuk meningkatkan kegiatan circular economy
5. Pengolahan limbah peternakan dilakukan melalui sistem zero waste, selain memanfaatkan kotoran sapi, rumen sapi juga dimasukkan ke dalam biodigester untuk membentuk biogas, sehingga jika dilakukan dalam jangka panjang, bisa mengurangi hasil limbah peternakan secara signifikan dan berdampak baik bagi perusahaan.

Jika dilakukan konversi keseluruhan biogas menjadi listrik, maka dengan hasil 244,4 kWh jika dirupiahkan menjadi :

dengan standar Golongan B-3/Tegangan Menengah (TM) daya di atas 200 kVA : Rp 1.114,74 per kWh, maka :

$244,4 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.114,74 \text{ per kWh} \times 24 \text{ jam} \times 20 \text{ hari} = \text{Rp } 130.772.379$

Maka, akan menghasilkan **penghematan listrik sebesar Rp 130.772.379,00 per bulannya.**