

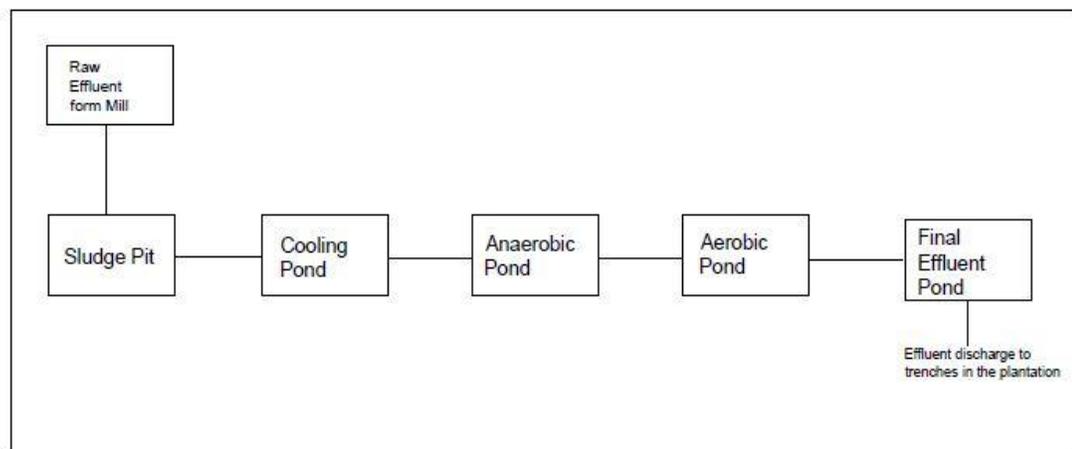
BAB IV

ANALISIS DESAIN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Biogas *Power Plant*

PT Bio Nusantara Teknologi memiliki kapasitas produksi FFB 30 ton FFB/jam. POME yang dihasilkan akan langsung dialirkan menuju kolam pengolahan terbuka. Direncanakan akan dibangun tangki *anaerobic* untuk mengolah POME sebelum dialirkan ke kolam terbuka. Jumlah POME yang dihasilkan dapat diestimasi sebesar 0,6m³. Berdasarkan data aktual yang diambil dari rata-rata 3 tahun terakhir diproses 134.137,4 ton FFB dan dihasilkan 87.828,4 ton POME, kemudian CH₄ dihasilkan 1.179.673,13 Kg CH₄. Dalam perencanaan ini, diambil jumlah produksi yang paling rendah, yaitu periode tahun 2015-2016.

Periode tahun 2015-2016 diproses 131.211,5 *dry* ton FFB dan dihasilkan 78.057,78 ton POME, kemudian menghasilkan CH₄ 1.048.438 Kg CH₄ terdapat pada tabel 4.13. Dalam perencanaan ini, diambil jumlah produksi yang paling rendah, yaitu periode tahun 2015-2016. Pengambilan data produksi paling rendah dilakukan untuk menghindari pada saat pengoperasian, jumlah limbah yang dibutuhkan oleh biogas *power plant* kurang dan mengakibatkan tidak beroperasinya biogas *power plant*.



Gambar 4.1 Gambaran Kondisi Eksisting Pengolahan di PKS

4.2 Aktivitas Proyek

Proyek ini akan membuat instalasi pengolahan POME secara *anaerobic* dan sistem penangkapan biogas. Dengan menangkap dan memanfaatkan biogas, akan dihasilkan listrik dari generator, selain itu proyek ini juga akan mengurangi emisi gas metana dari kolam terbuka yang ada. Sebagian besar emisi yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit berasal dari limbah cair, yaitu POME. Listrik yang dihasilkan dari konversi biogas direncanakan akan dijual. Proyek pembangunan *Biogas power plant* di PT Bio Nusantara Teknologi akan memproduksi listrik dengan kapasitas 0,728 MW dapat dilihat pada tabel 4

.13. POME yang dihasilkan akan dilakukan pengolahan kedalam sistem biogas *power plant*. Jenis pengolahannya menggunakan teknologi CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*). Desain teknologi CSTR yang akan dibangun menggunakan desain dari *Watermech MW Closed Tank Anaerobic Digester System Plant*. Lebih lanjut, proyek ini akan berkontribusi dalam utilisasi energi yang bersumber dari pabrik kelapa sawit untuk dijual.

Proyek perencanaan ini memiliki beberapa skenario dari kondisi eksisting dan kondisi saat proyek ini terealisasi. Berikut detail skenario yang dibuat:

Tabel 4.1 Skenario dari Kondisi Eksisting

Parameter	Kondisi eksisting	Skenario proyek
Pengolahan POME dan penangkapan Biogas	POME diolah di kolam terbuka tanpa <i>methane recovery</i>	POME diolah di <i>digester tank</i> jenis CSTR dengan penangkapan biogas. Biogas dijadikan bahan bakar generator untuk menghasilkan listrik yang selanjutnya dapat dimanfaatkan. Biogas yang berlebih akan dibakar oleh <i>flare system</i> sehingga tidak menimbulkan pencemaran udara.
Pengganti bahan bakar diesel	PT Bio Nusantara Teknologi menggunakan bahan bakar diesel untuk mengoperasikan genset sebagai sumber energi pabrik kelapa sawit.	Listrik yang dihasilkan dari <i>biogas power plant</i> akan menggantikan generator berbahan bakar diesel.

Parameter	Kondisi eksisting	Skenario proyek
Pengganti bahan bakar boiler (<i>fiber</i> dan <i>shell</i>)	PT Bio Nusantara Teknologi menggunakan bahan bakar biomassa untuk mengoperasikan turbin generator sebagai sumber energi pabrik kelapa sawit dan penghasil <i>steam</i> dalam proses sterilisasi FFB.	Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar turbin generator.

4.3 Kontribusi Proyek

Dalam pemanfaatan limbah cair kelapa sawit PT. Bio Nusantara Teknologi berkontribusi dalam berbagai aspek, yaitu:

1. Keuntungan lingkungan
 - a. Mengurangi pencemaran udara dari kolam terbuka. Emisi yang dilepaskan berupa gas metana, *volatile fatty acids* dan H₂S
 - b. Mengurangi bau yang disebabkan oleh aktivitas pengolahan karena tingginya kandungan organik
 - c. Mengurangi pencemaran air karena sistem pengolahan baru akan mengurangi beban polutan
2. Keuntungan ekonomi
 - a. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil
 - b. Utilisasi biogas sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia
 - c. Berkontribusi dalam efisiensi lebih jauh dalam utilisasi biomassa dengan menjual listrik hasil dari limbah kelapa sawit
3. Keuntungan sosial
 - a. Menciptakan lapangan kerja
 - b. Meningkatkan *skill staff* dalam pengoperasian dan *maintenance*
 - c. Meningkatkan lingkungan kerja karena bau dari kolam limbah akan berkurang.

4.4 Estimasi Pengurangan Emisi

Perhitungan emisi menggunakan metode IPCC. Dilakukan perhitungan emisi kondisi *riil* dan skenario. Skenario yang dibuat pada perhitungan ini untuk mengetahui berapa persen pengurangan emisi jika dioperasikan *Methane Capture*. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan metode IPCC ini seperti jumlah penggunaan bahan bakar solar, cangkang, *fiber*, jumlah limbah POME, jumlah limbah yang dijadikan kompos, jumlah produk yang dihasilkan, COD dan lainnya akan diolah menjadi nilai emisi dari industri tersebut. Berikut data perhitungan:

Tabel 4.2 Data Perhitungan Emisi Sektor Emisi Pabrik Kelapa Sawit

Data	2014-2015	2015-2016	2016-2017
<i>IA2 Manufacture (biomass)</i>			
<i>Biogas (POME to methcap) (m³)</i>			
<i>Shell (kg)</i>	5128040	4057850	7063850
<i>Fibre (kg)</i>	10121100	13201400	17585600
<i>IA2 Manufacture (liquid)</i>			
<i>Solar (genset) (liter)</i>	138703	114677	90556
<i>IA3 Transport (liquid)</i>			
<i>Solar (liter)</i>	93860,56	101951,5	116831,8
<i>4B CH₄ Emission</i>			
<i>Compost (Gg)</i>	31,59087	17,88499	26,85016
<i>4B N₂O Emission</i>			
<i>Compost (Gg)</i>	31,59087	17,88499	26,85016
<i>4D2 TOW Industrial Wastewater</i>			
<i>CPO production (ton/year)</i>	42096,46	45725,23	52412,88
<i>POME generated (m³/ton product)</i>	2,21526	1,948749	2,259388
<i>COD (kg COD/m³)</i>	40	40	40
<i>4D2 CH₄ EF Industrial Wastewater</i>			

Data	2014-2015	2015-2016	2016-2017
<i>1A2 Manufacture (biomass)</i>			
<i>Methane producing capacity (kg CH₄/kg COD)</i>	0,294	0,294	0,294
<i>4D2 CH₄ Industrial Wastewater</i>			
<i>Sludge removed (kg COD/year)</i>			
<i>Recovered CH₄ in each industry (kg CH₄/year)</i>			

[Sumber :(Muttaqin, 2019)]

Perhitungan skenario *methane capture* diperlukan untuk menganalisa simulasi emisi metana yang akan diolah oleh biogas *power plant*.

Tabel 4.3 Data Perhitungan Skenario *Methane Capture*

<i>1A2 Manufacture (biomass)</i>			
<i>Biogas (POME to methcap) (m³)</i>	2354338	2249626	2989686
<i>4D2 CH₄ EF Industrial Wastewater</i>			
<i>Methane producing capacity (kg CH₄/kg COD)</i>	0,294	0,294	0,294
<i>4D2 CH₄ Industrial Wastewater</i>			
<i>Sludge removed (kg COD/year)</i>			
<i>Recovered CH₄ in each industry (kg CH₄/year)</i>	36073587	34469168	45808672

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 64)]

Kondisi nyata perhitungan emisi berguna untuk melihat seberapa banyak emisi yang dikeluarkan agar bisa dimanfaatkan. Berikut adalah hasil perhitungan emisi kondisi riil:

Tabel 4.4 Rekapitulasi Emisi Riil

Keterangan	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Emisi Total Gg CO₂ e	30,77307019	27,22901277	36,49958929

Keterangan	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Emisi Aktual Gg CO ₂ e	30,80324316	27,26297803	36,54823249

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 66)]

Berikut adalah hasil perhitungan rekapitulasi emisi skenario berdasarkan data yang telah dihitung berdasarkan literatur, yaitu:

Tabel 4.5 Rekapitulasi Emisi Skenario *Methane Capture*

Keterangan	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Emisi Total Gg CO ₂ e	6,207565694	3,756072554	5,304760027
Emisi Aktual Gg CO ₂ e	9,004254156	6,433509198	8,866498705

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 69)]

Pada perbandingan emisi riil pada tabel 4.4 dan emisi skenario pada tabel 4.5 maka didapatkan penurunan emisi yang signifikan. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa dalam emisi saat tidak ada biogas *power plant*, emisi akan berkurang 83%. Berikut adalah hasil penurunan emisi *riil* dan emisi skenario:

Tabel 4.6 Penurunan Emisi

Metode	Perusahaan	Nilai Penurunan
IPCC	PT BNT	83,83%

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 136)]

4.5 Estimasi Jumlah CH₄ dan Emisi Limbah

Untuk dapat mengestimasi jumlah CH₄, perlu dihitung dengan menggunakan data POME yang dihasilkan. Berikut adalah nilai CH₄ yang dihasilkan dari data *riil* perusahaan:

Tabel 4.7 Produksi CH₄

PT	Period	Volume POME treated (ton)	Biogas Production (m ³)	CH ₄ Production (m ³)	CH ₄ Production (kg)
BNT	2014-2015	81.691,045	2.354.335,928	1.530.318,353	1.097.238,259
	2015-2016	78.057,788	2.249.625,452	1.462.256,544	1.048.437,942

PT	Period	Volume POME treated (ton)	Biogas Production (m ³)	CH ₄ Production (m ³)	CH ₄ Production (kg)
	2016-2017	103.736,506	2.989.686,104	1.943.295,968	1.393.343,209

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 181)]

4.6 Estimasi Emisi dari Sektor Limbah

Estimasi emisi dari sektor limbah dapat berguna untuk menganalisa besar emisi yang terdapat di limbah cair kelapa sawit apabila masuk ke pengolahan reaktor tipe *methane capture* dan kolam limbah. Estimasi emisi dari sector limbah bertujuan untuk mengestimasi jumlah CH₄.

Tabel 4.8 COD Sektor Limbah Cair

Period	Volume POME treated (m ³)	COD (kg/m ³)	COD (kg)
2014-2015	3,253.618	40,000	3,730,184.720
2015-2016	89,107.064	40,000	3,564,282.560
2016-2017	118,420.669	40,000	4,736,826.760

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 182)]

Berikut adalah tabel kapasitas maksimum produksi metana berdasarkan perhitungan literature:

Tabel 4.9 *Maximum Methane Producing Capacity* (kgCH₄/kgCOD)

Period	CH ₄ Production (kg)	COD (kg)	Bo (kgCH ₄ /kgCOD)
2014-2015	1.097.238,259	3.730.184,720	0,294
2015-2016	1.048.437,942	3.564.282,560	0,294
2016-2017	1.393.343,209	4.736.826,760	0,294

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 183)]

Berikut faktor emisi berdasarkan jumlah kapasitas maksimum gas metana yang terkandung. Perhitungan berdasarkan literatur sebagai berikut (sumber: Muttaqin, 2019):

Tabel 4.10 *Emission Factor* (EF)

Period	Bo (kgCH ₄ /kgCOD)	MCF ¹	EF
2014-2015	0,294	0,8	0,235
2015-2016	0,294	0,8	0,235

<i>Period</i>	Bo (kgCH₄/kgCOD)	MCF¹	EF
2016-2017	0,294	0,8	0,235

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 186)]

Total organik yang terdegradasi dalam pengolahan dapat dihitung dari volume POME dan banyaknya produksi CPO. Berikut total organik yang terdegradasi didalam pengolahan air limbah, yaitu:

Tabel 4.11 *Total Organic Degradable Material in Wastewater (TOW)*

<i>Period</i>	<i>Volume POME treated (m³)</i>	<i>CPO Production (ton)</i>	TOW (kgCOD/yr)
2014-2015	93.254,618	42.096,461	3.730.184,720
2015-2016	89.107,064	45.725,225	3.564.282,560
2016-2017	118.420,669	52.412,876	4.736.826,760

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 186)]

Tabel 4.12 Emisi Sektor Limbah Cair

<i>Period</i>	TOW (kgCOD/yr)	EF	<i>Emission kg CH₄</i>	<i>Emission Gg CO₂ e</i>
2014-2015	3.730.184,720	0,235	877.790,607	24,578
2015-2016	3.564.282,560	0,235	838.750,354	23,485
2016-2017	4.736.826,760	0,235	1.114.674,567	31,211

[Sumber : (Muttaqin, 2019 hlm 186)]

Berdasarkan data perhitungan tersebut, terdapat 2 jenis pengolahan yaitu pengolahan berdasarkan sistem *open lagoon* dan dengan sistem biogas *power plant*. Dimana pengolahan yang dilakukan PT. BNT saat ini adalah pengolahan dengan tipe *Covered Lagoon* dan teknologi *methane capture* berdasarkan perhitungan pengolahan saat ini dengan asumsi jumlah yang akan masuk ke *methane capture* sama dengan pengolahan saat ini.

4.7 Potensi Listrik

Data Tandan Buah Segar (TBS) dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) berdasarkan data sekunder yang terdapat di PT. Bio Nusantara Teknologi dimana rata-rata TBS per tahun sejumlah 131,211.51 *dry ton* TBS dan rata-rata POME 78,057.788 ton per tahun. Pengambilan periode tahunan dilakukan pada tahun 2015, 2016 dan 2017. Dengan

jumlah jam produksi sebanyak 24 jam perhari dan total hari produksi 335 hari/tahun. Berdasarkan perhitungan POME sesuai dengan *literature* maka didapatkan hasil sebagai berikut.

Rata-rata POME sebanyak 78,057.788 ton/tahun dari data BNT maka akan menghasilkan biogas sebesar 2,249,625.45 dengan konversi dikalikan 28.82 m³ biogas. Karena 1 ton POME sama dengan 28.82 m³ biogas keterangan terdapat pada tinjauan pustaka tabel 3.2. Perhitungan neraca massa konversi bahwa 65% kandungan biogas adalah CH₄, maka banyak CH₄ terkandung sebesar 1,462,256.543 m³. 1 m³ CH₄ sama dengan 0.717 kg CH₄ maka 1,462,256.543 dikalikan dengan 0.717 akan didapatkan hasil sebesar 1,048,437.941 kg. Dengan konsentrasi COD yang terdapat didalam POME sebanyak 40,000 mg/l.

Produksi CH₄ dikonversikan dari kg/tahun ke ton/tahun yang dibagi 1000, maka jumlah produksi CH₄ 1,048.4379 ton/tahun. Nilai kalor pada CH₄ adalah 50 MJ. Rata-rata energi yang didapatkan sebanyak 52,421,897 MJ/tahun, perhitungan berdasarkan jumlah produksi CH₄ dikalikan nilai kalor CH₄. Sebanding dengan 14,561.638 MWh/tahun, didapatkan dari MJ/*watt hour* yang dikonversikan per tahun. Kapasitas instalasi yang terdapat di *gas engine* yang dihitung sebesar 0.7280819 MW, perhitungan kapasitas pembangkit didapatkan dari perkalian dengan energi efisiensi sebesar 40% dan dibagi dengan asumsi mesin gas yang beroperasi sebesar 8,000 jam/tahun. Listrik yang dihasilkan per tahun sebesar 5,824,655.23 kWh/tahun, perhitungan didapatkan dari perkalian antara asumsi mesin gas per tahun dikali dengan konversi *watt/hour* ke tahun. Penentuan *availability factor* digunakan karena daya listrik yang dihasilkan pabrik akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin yang bekisar antara 90% - 98% dengan dikalikan oleh potensi listrik (asumsi *availability factor* yang dipakai sebesar 90%) maka akan ditentukan hasil sebesar 5,242,189.705 kWh/tahun. Perhitungan estimasi potensi listrik dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 4.13 Estimasi Potensi Listrik

Parameter	Unit	Value
TBS processed per year ^{a)}	t/yr	131,211.51

Parameter	Unit	Value
POME generated per year ^{b)}	m ³ /yr	78,057.8
COD in POME ^{c)}	mg/L	40,000
CH ₄ Produced ^{d)}	t/yr	1,048.437941
Energy rate ^{e)}	MJ/yr	52,421,897.05
	MWh/yr	14,561.63807
Power plant capacity (gas engine)	MW	0.728081904
Electricity generated per year	kWh/yr	5,824,655.228
Availability factor 90% ^{d)}	kWh/yr	5,242,189.705

[Sumber literatur : Penulis berdasarkan Referensi (Chin May Ji and Et, 2013)]

Keterangan :

- Tandan Buah Segar (TBS) berdasarkan data PT. Bio Nusantara Teknologi periode tahun 2016.
- Palm Oil Mill Effluent* (POME) berdasarkan data PT. Bio Nusantara Teknologi periode tahun 2016.
- Rata-rata jumlah COD berdasarkan data PT. Bio Nusantara Teknologi.
- 1 ton *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sama dengan 28,82 m³ biogas, 65% kandungan biogas adalah CH₄ (Madaki and Lau Seng, 2013). 1 m³ CH₄ 0.717 kg CH₄ (Safrizal, 2015).
- Nilai kalor CH₄ adalah 50 MJ/kg.
- Asumsi pengoperasian *gas engine* 8000 hr/yr dan dengan energi efisiensi sebesar 40%.
- Availability factor* (Faktor Ketersediaan) asumsi 90%.

4.8 Kajian Teknologi

Secara ilmiah, telah dibuktikan bahwa pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) secara anaerobik akan menghasilkan gas metana dan karbon dioksida. *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah organik yang berasal dari produk *agriculture* tanpa penambahan zat kimia. Gas metana yang terdapat pada limbah POME memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar yang dapat menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan pabrik ataupun untuk penjualan.

Berdasarkan literatur yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai beberapa teknologi pengolahan limbah POME menjadi biogas yang dapat dimanfaatkan dengan mengkonversinya menjadi energi listrik. Sebagai perbandingan teknologi yang akan digunakan yaitu teknologi tangki CSTR dan kolam limbah tertutup (*Covered Lagoon*). Berikut penjelasan teknologi yang akan digunakan sebagai rencana pembuatan biogas *power plant* di PT. Bio Nusantara Teknologi.

4.8.1 Tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

A. Aspek Teknis Teknologi CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*)

1) Penentuan Lokasi Proyek *Continuous Stirred Tank Reactor*

Lokasi yang digunakan untuk pembangunan proyek PLTBg POME adalah di area pengolahan Instalasi Pengolahan Air Limbah POME yang ada sebelumnya namun dengan sistem pengolahan secara umum. Pengolahan dengan tangki reaktor CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) memerlukan luas lahan yang tidak besar (Winrock, 2015).

2) Penentuan Model Bangunan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*)

Teknologi yang digunakan dalam proyek ini adalah sistem digester tangki anaerobik tertutup untuk menangkap biogas dari pengolahan. Teknologi sistemnya akan menggunakan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) dengan desain *Watermech MW Closed Tank Anaerobic Digester Systemplant*. Model bangunan biogas terdiri atas unit instalasi dan kolam. Unit instalasi antara lain *vibrating screen, distributor tank, tangki CSTR, gas header, scrubber, flaring, chiller, buffer tank* dan *generator*. Sedangkan model bangunan berbentuk kolam yaitu *mill, drain pit* dan kolam aerobik. *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit akan dilakukan pendinginan di *cooling pond*. Setelah itu, unit menggunakan *vibrating screen*. Model unit *vibrating screen* digunakan dengan tujuan pemisahan serat bersamaan dengan pengadukan POME agar optimal. Tangki distributor berguna untuk mendistribusikan ke alur selanjutnya, yang akan memompa POME kedalam *digester tank*. Model unit instalasi CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) digunakan karena tahan terhadap iklim dan tidak mudah

rusak jika terkena bencana alam terutama banjir. Mengingat, disekitar pabrik kelapa sawit sempat mengalami bencana alam banjir.

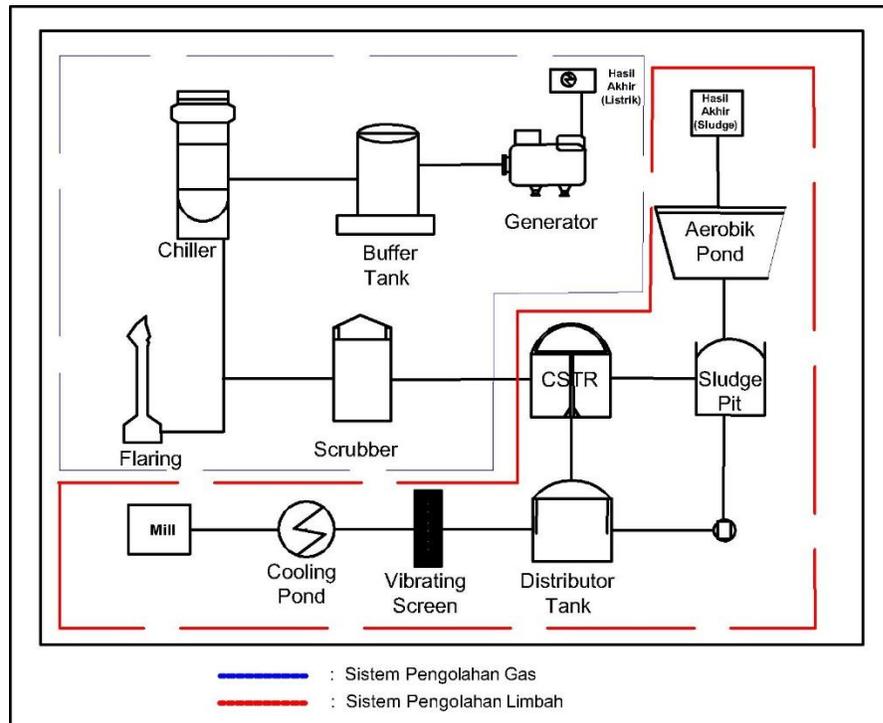
3) Pemilihan Mesin dan Peralatan *Continous Stirred Tank Reactor*

- a. Produk yang akan dihasilkan yaitu konversi menjadi energi listrik yang akan dijual kepada pihak PLN dan akan menghasilkan keuntungan bagi Pabrik Kelapa Sawit.
- b. Kecanggihan teknologi untuk proses produksi yang dihasilkan yaitu dapat dilihat dari emisi metana yang dihasilkan, tingkat kesukaran pengoperasian, serta waktu tinggal POME pada biodigester (HRT). Kecanggihan teknologi yang digunakan dapat dijabarkan sebagai berikut:
 - Emisi metana yang dihasilkan dari tangki CSTR tinggi, dapat disimpulkan bahwa hasil emisi etana dari reaktor CSTR lebih efisien.
 - Tingkat kesukaran pengoperasian memiliki tingkat yang lebih rendah, hal ini dapat diartikan bahwa pembangunan, perawatan dan pengoperasian biogas tangki CSTR lebih mudah.
 - Waktu tinggal POME pada *digester* cenderung cepat karena membutuhkan waktu hanya 20-90 hari.

(Ahmed, Yakob and Akhtar, 2014)
- c. Kemampuan teknologi menghasilkan produk dengan spesifikasi dan mutu produk yang sesuai.
- d. Teknologi yang dipilih menjamin tercapainya kapasitas produksi karena pengolahan lebih optimal dan efisien.
- e. Teknologi yang dipilih tidak menimbulkan kesulitan dalam pemasangan, pengoperasian serta perawatan.
- f. Teknologi CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) dipergunakan di kebanyakan Negara Eropa dan Amerika yang kebanyakan tidak memiliki iklim sama seperti Asia. Namun, teknologi ini diklaim baik untuk berbagai iklim karena lebih efisien.
- g. Pemanfaatan energi biogas dengan digester biogas menimbulkan dampak lingkungan yang menguntungkan, yaitu mengurangi efek gas rumah kaca,

mengurangi bau yang tidak sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanis/listrik) serta hasil samping berupa pupuk padat dan cair

4) Penentuan *Layout Continuous Stirred Tank Reactor*



Gambar 4.2 *Flowchart Instalasi Biogas Power Plant Tipe Continuous Stirred Tank Reactor*

5) Detail Teknologi yang digunakan *Continuous Stirred Tank Reactor*

Berikut ini adalah penjelasan dari detail sistem yang direncanakan:

a. *Cooling Pond*

POME dari pabrik kelapa sawit yang telah melalui proses akan dipompa menuju *cooling pond* untuk mendinginkan suhu agar sesuai dengan karakteristik mikroorganisme mesofilik, selain itu kandungan minyak juga akan lebih dikurangi karena dilakukan pengutipan minyak kembali. Dioperasikan 2 pompa untuk mengalirkan POME dari *cooling pond* menuju *vibrating screen*, 1 pompa sebagai cadangan apabila terjadi kerusakan pada pompa utama.

b. *Vibrating Screen*

Vibrating screen berfungsi untuk menyaring POME dari padatan-padatan seperti serat buah yang masih tersisa sebelum masuk ke *digester tank*. Mekanisme kerjanya yaitu POME akan dialirkan menuju ayakan yang bergetar untuk dapat menyaring antara padatan dengan POME. *Vibrating* yang digunakan mempunyai ukuran 20 *mesh*, artinya dalam 1 inchi persegi, terdapat 20 buah lubang.

c. *Distributor Tank*

Tangki distributor berfungsi untuk mendistribusikan POME ke dalam *digester tank*. Mekanisme kerja masuknya POME ke dalam tangki ini diatur oleh panel control berdasarkan ketersediaan gas di dalam *digester tank*. Aliran POME yang masuk akan terbaca di *flowmeter*.

d. CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*)

Digester tank berfungsi sebagai tempat penguraian POME oleh mikroorganisme secara anaerobik, dari penguraian tersebut akan menghasilkan gas metana (CH₄). Untuk menghasilkan gas secara optimum, maka kondisi lingkungan mikroorganisme harus dalam kondisi yang optimum menyesuaikan untuk bakteri *mesophilic*.

Berdasarkan standar, waktu retensi POME untuk menghasilkan gas metana berkisar antara 20-90 hari.

Perhitungan kapasitas CSTR:

- a. FFB diproses : 131.211,51 *dry ton*/tahun
- b. POME dihasilkan : 78.057,788 *ton*/tahun
: 89.107,064 m³/tahun
: 244,129 m³/hari
- c. CH₄ dihasilkan : 1.048.437,9 kg/tahun
- d. *Retention time* : Volume CSTR/ Volume POME harian
- e. Asumsi 5.000 m³ : 5.000/244,529 = 20,48 hari
- f. Asumsi 5.500 m³ : 5.500/244,529 = 22,53 hari

Berdasarkan perhitungan tersebut, direncanakan pembangunan CSTR dengan kapasitas 5.500 m³ karena waktu retensi memenuhi kriteria desain. Desain tidak menggunakan kapasitas 5.000 m³ dikarenakan waktu retensi tepat pada 20 hari dan termasuk batas bawah kriteria desain.

Digester tank dilengkapi dengan beberapa jenis pompa yang berfungsi untuk pengadukan agar POME tersebar merata dan proses metabolisme bakteri berjalan merata, yaitu: 3 unit pompa sirkulasi, 2 unit pompa *diffuser* dan 1 unit pompa *injector*.

Hasil aliran *overflow digester tank* akan masuk ke *overflow and drain pit* yang berfungsi sebagai tempat penampung dari sisa proses penguraian POME (*Digester tank discharge*) dan untuk menguras *sludge* yang terakumulasi dibagian bawah *digester tank*. *Drain Pit* dilengkapi dengan 2 pompa yang berfungsi untuk mentransfer *effluent digest overflow* dan *effluent* yang ada di *drain pit* menuju ke kolam terbuka.

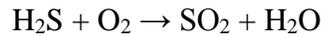
Gas yang dihasilkan akan menempati ruang di bagian atas *digester tank*. Untuk menghisap gas yang ada di *digester tank* menuju *gas header*, digunakan *blower*. Terdapat 2 unit *blower* berfungsi untuk menekan dan menghisap gas yang dihasilkan dari *digester tank* agar gas yang dialirkan kedalam jalur sistem dengan tekanan yang lebih tinggi dan aliran yang lebih cepat (mempertahankan kestabilan gas yang di suplai ke dalam sistem).

e. *Scrubber*

Scrubber berfungsi untuk menangkap H₂S yang ikut kedalam gas metana sebelum digunakan sebagai bahan bakar generator. Hal ini untuk mencegah korosi, mengoptimalkan operasi dan memperpanjang umur generator. Standard H₂S yang terkandung di dalam biogas berkisar antara 0 - 5 ppm. *Scrubber* dilengkapi dengan 2 unit pompa O₂, dengan standard O₂ yang 5 - 10 %.

Mekanisme kerja *scrubber* direncanakan yaitu, gas yang ditekan oleh *blower* akan masuk kedalam *scrubber* bersamaan dengan oksigen yang masuk yang

ditekan pompa, gas yang telah bercampur dengan oksigen tersebut akan memasuki ruang *scrubber* dengan sekat-sekat dan penyemprotan air. Oksigen yang dibutuhkan 5 - 10%. Tujuan penyemprotan dengan air adalah untuk mengikat H₂S yang berbentuk gas menjadi SO₂.



H₂S dapat membahayakan generator karena akan merusak mesin, sehingga H₂S yang dihasilkan dari *digester tank* dapat direduksi. Penggunaan *scrubber* dapat mereduksi H₂S hingga 99%. H₂S yang tinggi menyebabkan terbentuknya kerak sulfur di bagian-bagian mesin seperti busi dan silinder.

f. *Chiller*

Chiller merupakan seperangkat peralatan yang berfungsi memisahkan kandungan air yang masih terkandung dalam biogas, dimana biogas sebagai bahan bakar harus bebas dari kadar air, dikarenakan kadar air yang tinggi akan mengganggu proses pembakaran biogas pada generator. Hal tersebut akan mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin.

g. *Buffer tank*

Buffer tank berfungsi untuk menyimpan gas sementara dan juga sebagai cadangan gas untuk digunakan generator. Selain itu, *buffer tank* juga memiliki fungsi untuk menghilangkan kadar air dalam gas. Terdapat 2 *blower* untuk mendorong gas menuju *engine*.

h. *Flare*

Flaring bertujuan untuk membakar kelebihan gas, terutama pada saat biogas tidak dapat diumpankan ke generator. Penggunaan *flare* dipakai apabila tidak beroperasi. Apabila kelebihan gas tersebut langsung dibuang ke lingkungan akan berbahaya karena sifatnya yang mudah terbakar serta akan melepas gas yang dihasilkan biogas ke atmosfer yang akan menimbulkan efek rumah kaca.

i. *Generator*

Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik yang menggunakan bahan bakar biogas. Potensi listrik yang dapat dihasilkan *biogas power plant*

berdasarkan perhitungan yaitu 0.728 MW. Dalam perencanaan, akan digunakan 2 *generator* dengan kapasitas 500 kw sebanyak 2 unit.

Cara kerja generator yaitu dengan gas yang disuplai dari akan masuk ke generator. Untuk mencegah mesin panas, terdapat sistem pendingin. Pendingin untuk mesin berupa cairan *coolant* yang akan disirkulasi di dalam *generator*. Air *coolant* yang panas akan didinginkan dengan air bersih menggunakan mekanisme pemindahan panas. Air bersih yang telah menjadi panas kemudian akan disirkulasi lagi di bak pendingin, air yang telah dingin akan terus tersirkulasi kedalam *generator* untuk dilakukan pemindahan panas.

B. Perhitungan Aspek Finansial

Untuk mengevaluasi kelayakan berdirinya suatu pabrik dan tingkat pendapatannya, maka dilakukan analisa perhitungan secara teknik. Selanjutnya perlu juga dilakukan analisa terhadap aspek finansial dengan perhitungan nilai ekonomis. Dari hasil analisa tersebut diharapkan berbagai kebijaksanaan dapat diambil untuk pengarahan secara tepat.

1) Estimasi Biaya Investasi *Continous Stirred Tank Reactor*

Modal investasi dapat dihitung dengan metode *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operational Expenditure* (OPEX). Perhitungan nilai CAPEX untuk instalasi biogas dapat diestimasi dari dasar rata-rata sebesar RM 10.000.000 berdasarkan literature perhitungan CAPEX [Chin May Ji, 2013] atau jika di rupiahkan sejumlah Rp 33.883.000.000,- dari per MW kapasitas pembangkit. Dengan kapasitas pembangkit sejumlah 0.728 MW maka total investasi atau CAPEX yang didapatkan sebesar Rp 25.656.383.102,-. Perhitungan CAPEX berada di lampiran 2. Berikut keterangan, persentase dan hasil yang didapatkan dari perhitungan total investasi instalasi biogas dari CAPEX.

Tabel 4.14 *Capital Expenditures* Investasi Biogas Power Plant Tipe Tangki CSTR PT. Bio Nusantara Teknologi

<i>Capital Expenditures</i>	Persentase	Harga
<i>Project development cost</i>	3%	Rp 740,087,974.09
<i>Site preparation and civil work</i>	5%	Rp 1,233,479,956.82
<i>Digester system, piping and flaring</i>	34%	Rp 8,387,663,706.40
<i>Gas cleaning and pumps systems</i>	11%	Rp 2,713,655,905.01
<i>Gas engine and generator</i>	17%	Rp 4,193,831,853.20
<i>Controller and electrical system</i>	10%	Rp 2,466,959,913.65
<i>Balance of plants</i>	11%	Rp 2,713,655,905.01
<i>Grid interconnection system</i>	4%	Rp 986,783,965.46
<i>Other cost (IDC & insurance)</i>	5%	Rp 1,233,479,956.82
Total Capital Expenditures	100%	Rp 24,669,599,136.46

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Chin May Ji and Et, 2013)]

Berbeda dengan CAPEX, OPEX digunakan untuk kebutuhan operasional sehari-hari dengan estimasi 4% dari CAPEX (Chin May Ji, 2013). Maka hasil OPEX sebesar Rp 986.783.965.00. Keterangan biaya operasional, *persentase* dan jumlah biaya hasil perhitungan *persentase* terdapat pada tabel 4.15. Perhitungan lebih lengkap OPEX terdapat di lampiran 3.

Tabel 4.15 *Operational Expenditures* Investasi Biogas Power Plant Tipe Tangki CSTR PT. Bio Nusantara Teknologi

<i>Operational Expenditures</i>	Persentase	Harga
<i>Operating labors</i>	25%	Rp 246,695,991.36
<i>General administration & other</i>	14%	Rp 138,149,755.16
<i>Insurance</i>	5%	Rp 49,339,198.27
<i>Digester service and maintenance</i>	17%	Rp 167,753,274.13
<i>Gas engine service and maintenance</i>	39%	Rp 384,845,746.53
Total Operational Expenditures	100%	Rp 986,783,965.46

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Chin May Ji and Et, 2013)]

2) Depresiasi *Continous Stirred Tank Reactor*

Depresiasi atau nilai penyusutan dapat dihitung dari aset dikalikan dengan tahun tertentu lalu dibagi dengan jumlah tahun yang akan mengalami nilai penyusutan. Depresiasi dapat dilihat dari aset tetap perusahaan yang akan mengalami penyusutan pada periode/tahun tertentu. Hal ini dikarenakan kemampuan aset tersebut akan mengalami penurunan nilai pada setiap tahunnya.

Periode penyusutan biogas *power plant* limbah cair kelapa sawit di PT. Bio Nusantara Teknologi menggunakan periode umur waktu 15 tahun dengan total tahun berjumlah 120. Besar tarif yang dikeluarkan setiap tahun dikalikan dengan harga perolehan mesin. Harga mesin didapat dari mesin yang digunakan untuk instalasi biogas yaitu yang berasal dari perhitungan CAPEX. Mesin yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Sistem digester, perpipaan dan *flaring*
- b) Sistem perpompaan dan *gas cleaning*
- c) *Gas engine* dan generator
- d) *Controller and electrical system*
- e) *Balance of plants*
- f) Jaringan listrik yang terhubung

Pemilihan perolehan harga mesin tersebut berdasarkan CAPEX dan mesin yang terdapat di biogas *power plant* dengan total harga perolehan mesin sebesar Rp 21,462,551,248.72. Contoh perhitungan depresiasi terdapat pada lampiran 5. Berikut tabel 4.16 mengenai nilai penyusutan alat biogas *power plant* PT. Bio Nusantara Teknologi.

Tabel 4.16 Depresiasi atau Nilai Penyusutan Biogas *Power Plant* Tipe Tangki CSTR

Tarif	Dasar Penyusutan	Penyusutan
(15/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 2,682,818,906.09
(14/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 2,503,964,312.35
(13/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 2,325,109,718.61
(12/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 2,146,255,124.87
(11/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,967,400,531.13

Tarif	Dasar Penyusutan	Penyusutan
(10/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,788,545,937.39
(9/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,609,691,343.65
(8/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,430,836,749.91
(7/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,251,982,156.18
(6/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 1,073,127,562.44
(5/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 894,272,968.70
(4/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 715,418,374.96
(3/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 536,563,781.22
(2/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 357,709,187.48
(1/120)	Rp 21,462,551,248.72	Rp 178,854,593.74
	total	Rp 21,462,551,248.72

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Pontoh, 2013)]

3) Perkiraan Laba CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*)

Untuk melihat keuntungan perusahaan maka dapat dihitung keuntungan dari penjualan listrik per tahun dikurang dengan biaya operasional per-tahun. Kapasitas biogas dikali dengan *availability factor* (faktor ketersediaan) sebesar 90% (Winrock, 2015), digunakan karena daya listrik yang dihasilkan pabrik akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin yang bekisar antara 90%-98%. *Availability factor* Jumlah hasil perhitungan *availability factor* digunakan sebagai kapasitas riil biogas dikalikan dengan tarif listrik sebesar Rp 1,610.00/kWh. Perhitungan laba sebelum pajak pembuatan biogas *power plant* didapatkan dari penjualan listrik pertahun sejumlah Rp 8,439,925,425.43 dikurangi dengan biaya operasional biogas atau OPEX sejumlah Rp 986,783,965.46 serta dikurang depresiasi. Perhitungan laba biogas Tipe CSTR terdapat pada lampiran 4. Hasil tersebut dikalikan 90%, karena terdapat pajak 10%. Maka akan didapatkan hasil pada tabel 4.17 sebagai berikut:

Tabel 4.17 Laba Tipe tangki CSTR

Tahun	Penjualan - opex	Depresiasi	keuntungan sebelum pajak	keuntungan setelah pajak
1	Rp 7,453,141,459.97	Rp 2,682,818,906.09	Rp 4,770,322,553.88	Rp 4,293,290,298.49
2	Rp 7,453,141,459.97	Rp 2,503,964,312.35	Rp 4,949,177,147.62	Rp 4,454,259,432.86

Tahun	Penjualan - opex	Depresiasi	keuntungan sebelum pajak	keuntungan setelah pajak
3	Rp 7,453,141,459.97	Rp 2,325,109,718.61	Rp 5,128,031,741.36	Rp 4,615,228,567.22
4	Rp 7,453,141,459.97	Rp 2,146,255,124.87	Rp 5,306,886,335.10	Rp 4,776,197,701.59
5	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,967,400,531.13	Rp 5,485,740,928.84	Rp 4,937,166,835.95
6	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,788,545,937.39	Rp 5,664,595,522.58	Rp 5,098,135,970.32
7	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,609,691,343.65	Rp 5,843,450,116.32	Rp 5,259,105,104.69
8	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,430,836,749.91	Rp 6,022,304,710.06	Rp 5,420,074,239.05
9	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,251,982,156.18	Rp 6,201,159,303.80	Rp 5,581,043,373.42
10	Rp 7,453,141,459.97	Rp 1,073,127,562.44	Rp 6,380,013,897.53	Rp 5,742,012,507.78
11	Rp 7,453,141,459.97	Rp 894,272,968.70	Rp 6,558,868,491.27	Rp 5,902,981,642.15
12	Rp 7,453,141,459.97	Rp 715,418,374.96	Rp 6,737,723,085.01	Rp 6,063,950,776.51
13	Rp 7,453,141,459.97	Rp 536,563,781.22	Rp 6,916,577,678.75	Rp 6,224,919,910.88
14	Rp 7,453,141,459.97	Rp 357,709,187.48	Rp 7,095,432,272.49	Rp 6,385,889,045.24
15	Rp 7,453,141,459.97	Rp 178,854,593.74	Rp 7,274,286,866.23	Rp 6,546,858,179.61

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

4) *Net Cash Flow Continuous Stirred Tank Reactor*

Aliran kas yang didapatkan dari arus masuk dan arus keluar uang atau setara uang. Dimana dalam proyek pembuatan biogas tersebut digunakan nilai total investasi sebagai arus kas keluar dan pendapatan atau keuntungan bersih sebagai arus kas masuk. Dengan menggunakan total investasi biogas sebesar nilai aset yang telah mengalami penyusutan sebagai arus kas keluar serta keuntungan bersih sesudah pajak dapat dijadikan sebagai arus kas masuk maka akan didapatkan aliran kas selama biogas berjalannya investasi biogas *power plant* tersebut. Arus kas didapatkan dari harga penyusutan ditambah laba bersih penjualan listrik (Suratman, 2001). Contoh perhitungan aliran kas terdapat pada lampiran 6. Berikut tabel 4.18 terdapat perhitungan aliran kas berdasarkan literatur. Berikut tabel perhitungan aliran kas berdasarkan literatur:

Tabel 4. 18 Aliran Kas (*Net Cash Flow*) Biogas *Power Plant* Tipe Tangki CSTR

Tahun	Laba Bersih	Penyusutan	<i>Net Cash Flow</i>
1	Rp 4,293,290,298.49	Rp 2,682,818,906.09	Rp 6,976,109,204.58
2	Rp 4,454,259,432.86	Rp 2,503,964,312.35	Rp 6,958,223,745.21
3	Rp 4,615,228,567.22	Rp 2,325,109,718.61	Rp 6,940,338,285.83
4	Rp 4,776,197,701.59	Rp 2,146,255,124.87	Rp 6,922,452,826.46

Tahun	Laba Bersih	Penyusutan	Net Cash Flow
5	Rp 4,937,166,835.95	Rp 1,967,400,531.13	Rp 6,904,567,367.09
6	Rp 5,098,135,970.32	Rp 1,788,545,937.39	Rp 6,886,681,907.71
7	Rp 5,259,105,104.69	Rp 1,609,691,343.65	Rp 6,868,796,448.34
8	Rp 5,420,074,239.05	Rp 1,430,836,749.91	Rp 6,850,910,988.97
9	Rp 5,581,043,373.42	Rp 1,251,982,156.18	Rp 6,833,025,529.59
10	Rp 5,742,012,507.78	Rp 1,073,127,562.44	Rp 6,815,140,070.22
11	Rp 5,902,981,642.15	Rp 894,272,968.70	Rp 6,797,254,610.84
12	Rp 6,063,950,776.51	Rp 715,418,374.96	Rp 6,779,369,151.47
13	Rp 6,224,919,910.88	Rp 536,563,781.22	Rp 6,761,483,692.10
14	Rp 6,385,889,045.24	Rp 357,709,187.48	Rp 6,743,598,232.72
15	Rp 6,546,858,179.61	Rp 178,854,593.74	Rp 6,725,712,773.35

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Suratman, 2001)]

5) *Break Even Point* (BEP) Tangki CSTR

Jumlah penjualan pada tingkat *break even point* dibuat untuk mengetahui jumlah penjualan pada masa tertentu dimana proyek tidak memperoleh keuntungan tetapi juga tidak menderita kerugian. *Break Even Point* Tipe Tangki CSTR sebesar 12% atau jika dirupiahkan senilai Rp 9,595,610,723.51. Perhitungan persentase *break even point* didapat dari biaya tetap dibagi dengan pengurangan antara harga jual listrik dan biaya variabel. Detail perhitungan *break even point* terdapat pada lampiran 7. Berikut tabel 4.19 yang menjelaskan mengenai rincian perhitungan yang didapat untuk *Break Even Point* Tipe Tangki CSTR.

Tabel 4. 19 *Break Even Point* Tipe Tangki CSTR

Jumlah listrik	0.72808
Harga Jual Listrik	Rp 8,439,925,425.43
Biaya Tetap/Operasional	Rp 986,783,965.46
Biaya Variabel	Rp 246,695,991.36
<i>Break Even Value</i>	12%
<i>Break Even Value (RP)</i>	Rp 986,783,965.46

[Sumber literatur : Penulis berdasarkan Referensi (Nitisemito and Burhan, 2007)]

6) Ringkasan Analisa Ekonomi *Continuous Stirred Tank Reactor*

Berdasarkan analisis data dan perhitungan bahwa kapasitas total per produksi sebanyak 0.728 MW dengan total Investasi sebesar Rp 24,669,599,136 dengan total biaya operasional yang dikeluarkan setiap tahun sebanyak Rp 986,783,965. Keuntungan dari penjualan listrik setiap tahun berbeda ditambah dengan pajak sebesar 10%. Berdasarkan analisis data yang ada pada Tabel 4.20, terlihat bahwa usaha penjualan listrik dari biogas *power plant* dengan kapasitas 0.72808 MW.

Tabel 4.20 Ringkasan Analisis Ekonomi Penjualan Listrik dari Biogas *Power Plant* Tipe Tangki CSTR

No.	Parameter	Unit	Nilai
1.	Kapasitas listrik yang digunakan	kWh/hari	-
2.	Kapasitas listrik	MW	0.72808
3.	Total investasi (CAPEX)	Rp	Rp 24,669,599,136
4.	Total biaya operasional (OPEX)	Rp/thn	Rp 986,783,965
5.	Total pendapatan (Penjualan listrik)	Rp/thn	Rp 9,595,610,723.51
6.	<i>Break even point</i>	%	12%
7.	Persentase pada BEP	Rp/thn	Rp 986,783,965.46
8.	Harga perolehan mesin	Rp/thn	Rp 21,462,551,249

1. *Net Present Value* (NPV) Tangki CSTR

Net Present Value (NPV) Tangki CSTR didapat dari dengan *present value factor* (PVF) yaitu faktor pengali untuk mengetahui besarnya nilai uang apabila kita menerimanya pada tahun yang akan datang. Nilai arus kas pada periode t dikalikan dengan *diskon factor* yaitu 15%. Dengan nilai NPV yang didapatkan dari total investasi sebesar Rp 25,656,383,101.92 dikurangi jumlah *present value* didapatkan hasil NPV sebesar Rp14,658,092,362.37. Perhitungan NPV dapat dilihat pada lampiran 8.

Tabel 4.21 *Net Present Value* (NPV) Tangki CSTR

Year	Net cash flow	Discount factor 15%	Present value
0	- Rp 25,656,383,101.92	0	-Rp 25,656,383,101.92
1	Rp 6,976,109,204.58	0.869565217	Rp 6,066,181,917.03
2	Rp 6,958,223,745.21	0.756143667	Rp 5,261,416,820.57

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
3	Rp 6,940,338,285.83	0.657516232	Rp 4,563,385,081.51
4	Rp 6,922,452,826.46	0.571753246	Rp 3,957,934,870.99
5	Rp 6,904,567,367.09	0.497176735	Rp 3,432,790,262.22
6	Rp 6,886,681,907.71	0.432327596	Rp 2,977,302,632.97
7	Rp 6,868,796,448.34	0.37593704	Rp 2,582,235,004.62
8	Rp 6,850,910,988.97	0.326901774	Rp 2,239,574,954.75
9	Rp 6,833,025,529.59	0.284262412	Rp 1,942,372,318.57
10	Rp 6,815,140,070.22	0.247184706	Rp 1,684,598,395.44
11	Rp 6,797,254,610.84	0.214943223	Rp 1,461,023,811.67
12	Rp 6,779,369,151.47	0.18690715	Rp 1,267,112,568.16
13	Rp 6,761,483,692.10	0.162527957	Rp 1,098,930,128.63
14	Rp 6,743,598,232.72	0.141328658	Rp 953,063,688.23
15	Rp 6,725,712,773.35	0.122894485	Rp 826,553,008.92
	Net Present Value		Rp 14,658,092,362.37

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

2. *Internal Rate of Return (IRR) Tangki CSTR*

Metode *Internal Rate of Return (IRR)* berkaitan dengan NPV, karena IRR dapat dilihat sebagai *discount rate* yang menjadikan NPV dari investasi sama dengan nol atau mendiskonto seluruh *net cash flow* sehingga akan menghasilkan jumlah NPV yang sama dengan nol. NPV yang digunakan yaitu NPV1 dan NPV2. NPV1 yaitu dengan perhitungan menggunakan *discount factor* yang akan menghasilkan nilai positif, sementara NPV2 yaitu dengan perhitungan menggunakan *discount factor* yang akan menghasilkan nilai negatif.

Tabel 4.22 *Net Present Value (NPV) 1 diskonto 15% Tangki CSTR*

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
0	- Rp 25,656,383,101.92	0	-Rp 25,656,383,101.92
1	Rp 6,976,109,204.58	0.869565217	Rp6,066,181,917.03
2	Rp 6,958,223,745.21	0.756143667	Rp5,261,416,820.57
3	Rp 6,940,338,285.83	0.657516232	Rp4,563,385,081.51
4	Rp 6,922,452,826.46	0.571753246	Rp3,957,934,870.99
5	Rp 6,904,567,367.09	0.497176735	Rp3,432,790,262.22
6	Rp 6,886,681,907.71	0.432327596	Rp2,977,302,632.97
7	Rp 6,868,796,448.34	0.37593704	Rp2,582,235,004.62
8	Rp 6,850,910,988.97	0.326901774	Rp2,239,574,954.75

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
9	Rp 6,833,025,529.59	0.284262412	Rp1,942,372,318.57
10	Rp 6,815,140,070.22	0.247184706	Rp1,684,598,395.44
11	Rp 6,797,254,610.84	0.214943223	Rp1,461,023,811.67
12	Rp 6,779,369,151.47	0.18690715	Rp1,267,112,568.16
13	Rp 6,761,483,692.10	0.162527957	Rp1,098,930,128.63
14	Rp 6,743,598,232.72	0.141328658	Rp953,063,688.23
15	Rp 6,725,712,773.35	0.122894485	Rp826,553,008.92
	<i>Net Present Value</i>		Rp14,658,092,362.37

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

Besar nilai NPV1 yang didapatkan berdasarkan rumus NPV pada tabel 4.22 sebesar Rp14,658,092,362.37 dengan menggunakan *discount factor* 15% agar menghasilkan nilai positif dan diperhitungkan dari keuntungan berdasarkan tingkat suku bunga. Sementara pada tabel 4.23 NPV2 yang didapatkan yaitu -Rp1,554,788,335.81 dengan besar *discount factor* yang digunakan yaitu 28% untuk menghasilkan nilai negatif. Perhitungan antara NPV1 dan NPV2 dengan percobaan *trial and error* hingga dapat menghasilkan nilai IRR sebesar 26.75%.

Tabel 4.23 *Net Present Value* (NPV) 2 diskonto 85% Tangki CSTR

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 28%</i>	<i>Present Value</i>
0	-Rp 25,656,383,101.92	0	-Rp25,656,383,101.92
1	Rp 6,976,109,204.58	0.78125	Rp5,450,085,316.08
2	Rp 6,958,223,745.21	0.610351563	Rp4,246,962,735.11
3	Rp 6,940,338,285.83	0.476837158	Rp3,309,411,185.19
4	Rp 6,922,452,826.46	0.37252903	Rp2,578,814,635.60
5	Rp 6,904,567,367.09	0.291038305	Rp2,009,493,580.29
6	Rp 6,886,681,907.71	0.227373675	Rp1,565,850,176.97
7	Rp 6,868,796,448.34	0.177635684	Rp1,220,143,354.95
8	Rp 6,850,910,988.97	0.138777878	Rp950,754,889.95
9	Rp 6,833,025,529.59	0.108420217	Rp740,838,112.38
10	Rp 6,815,140,070.22	0.084703295	Rp577,264,817.96
11	Rp 6,797,254,610.84	0.066174449	Rp449,804,578.61
12	Rp 6,779,369,151.47	0.051698788	Rp350,485,170.46
13	Rp 6,761,483,692.10	0.040389678	Rp273,094,151.47
14	Rp 6,743,598,232.72	0.031554436	Rp212,790,440.25
15	Rp 6,725,712,773.35	0.024651903	Rp165,801,620.83
	<i>Net Present Value</i>		-Rp1,554,788,335.81

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

Tangki CSTR Nilai kelayakan tersebut dapat dilihat dari nilai IRR (*Internal Rate of Return*) yang didapat berdasarkan tingkat diskonto yaitu 15% ditambah dengan pembagian npv1 sebesar Rp 14,658,092,362.37. dibagi dengan pengurangan npv 1 dan npv 2 sebesar -Rp 1,554,788,335.81 lalu dikalikan dengan persentase diskonto 28% dikurang 15% dengan penjumlahan sebesar 26.75%, yang berarti lebih besar dari tingkat bunga *bank disconto* 15% yang diaplikasikan pada analisis tersebut. Perhitungan IRR dapat dilihat pada lampiran 9.

3. *Payback period* (PP) Tangki CSTR

Payback Period (PP) dapat dihitung dari jumlah arus kas. Pada tahun awal karena mengeluarkan biaya awal maka arus kas pada tahun 0 sebesar -Rp 25,656,383,101.92 ditambah dengan arus kas pada tahun 1 Rp 6,976,109,204.58 hasil NCF kumulatif yaitu -Rp 18,680,273,897.33. Perhitungan NCF kumulatif pada tahun berikutnya didapatkan dari penjumlahan *Net cash flow* (NCF) dengan nilai kumulatif NCF pada tahun sebelumnya. Setelah itu dibuat analisa logis antara nilai dan prakiraan arus kas (NCF) dengan kumulatif arus kas (NCF) dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 *Payback Period* (PP) Tangki CSTR

<i>Tahun</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Cumulative NCF</i>	<i>Index cash flow positive</i>
0	-Rp 25,656,383,101.92		
1	Rp 6,976,109,204.58	-Rp 18,680,273,897.33	0
2	Rp 6,958,223,745.21	-Rp 11,722,050,152.12	0
3	Rp 6,940,338,285.83	-Rp 4,781,711,866.29	0
4	Rp 6,922,452,826.46	Rp 2,140,740,960.17	0.690753984
5	Rp 6,904,567,367.09	Rp 9,045,308,327.26	0.310047081
6	Rp 6,886,681,907.71	Rp 15,931,990,234.97	1.313449416
7	Rp 6,868,796,448.34	Rp 22,800,786,683.31	2.319473339
8	Rp 6,850,910,988.97	Rp 29,651,697,672.28	3.328139385
9	Rp 6,833,025,529.59	Rp 36,484,723,201.87	4.339468299
10	Rp 6,815,140,070.22	Rp 43,299,863,272.08	5.353481047
11	Rp 6,797,254,610.84	Rp 50,097,117,882.93	6.370198816
12	Rp 6,779,369,151.47	Rp 56,876,487,034.40	7.389643013
13	Rp 6,761,483,692.10	Rp 63,637,970,726.49	8.411835275
14	Rp 6,743,598,232.72	Rp 70,381,568,959.21	9.436797468
15	Rp 6,725,712,773.35	Rp 77,107,281,732.56	10.46455169

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Soeharto, 1999)]

Metode perhitungan *payback period* diambil pada tahun yang nilai kumulatif arus kas periode pengembalian yaitu dapat dilihat pada tahun ke 3 dengan rumus $n-1$ atau tahun pengembalian modal dikurangi 1. Perhitungan rumus didapatkan dari jumlah arus kas yang masih bernilai negatif yaitu pada tahun ke satu sebesar Rp 6,976,109,204.58 dan tahun ke dua sebesar Rp 6,958,223,745.21 dan ke tiga sebesar Rp 6,940,338,285.83 yaitu sebesar Rp 20,874,671,235.63. lalu didapatkan hasil *payback period* dengan menghitung rumus 3 ditambah total investasi Rp 25,656,383,101.92 dikurangi arus kas kumulatif tahun sebelum periode pengembalian sebesar Rp 20,874,671,235.63 lalu dibagi dengan arus kas tahun periode pengembalian sebesar Rp 6,922,452,826.46 dapat dilihat pada tabel 4.34 maka didapatkan hasil periode pengembalian 3.69 tahun atau kurang lebih 44 bulan.

Hasil kembalinya modal didapatkan pada jangka waktu 44 bulan. Faktor yang mendukung bahwa produksi listrik ini layak dijalankan secara komersial dapat dilihat pula pada *payback period* (kembalinya modal). Perhitungan *payback period* dapat dilihat pada lampiran 10.

Berikut tabel 4.25 berisi ringkasan analisis parameter kelayakan biogas *power plant* tipe *covered lagoon* dengan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR) dan *Payback Period* (PP).

Tabel 4.25 Ringkasan Analisis Parameter Kelayakan Biogas *Power Plant* PT. Bio Nusantara Teknologi Tipe CSTR

No	Parameter	Unit	Nilai
1	NPV (diskonto 15%) (Rp)	Rp	Rp14,658,092,362.37
2	IRR (%)	%	26.75
3	<i>Payback period</i>	Bulan	44

4.8.1 Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

A. Aspek Teknis Teknologi *Covered Lagoon*

1) Penentuan Lokasi Proyek *Covered Lagoon*

Lokasi yang digunakan untuk pembangunan proyek PLTBg POME adalah di area pengolahan Instalasi Pengolahan Air Limbah POME yang ada

sebelumnya namun dengan sistem pengolahan secara umum. Pengolahan dengan teknologi *Covered Lagoon* memerlukan lahan yang sangat luas untuk menghasilkan *effluent* yang memenuhi aturan ambang baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Ukuran kolam bergantung pada kapasitas pabrik pengolahan kelapa sawit, serta area yang tersedia pada kolam.

2) Penentuan Model Bangunan *Covered Lagoon*

Teknologi biogas dirancang untuk mengkonversi listrik dari limbah kelapa sawit POME dari pabrik kelapa sawit. Dengan prinsip alat (reaktor) yang kedap udara dengan bagian-bagian pokok terdiri atas pencerna (*digester*), lubang pemasukan bahan baku dan pengeluaran lumpur sisa hasil pencernaan (*slurry*) dan pipa penyaluran gas bio yang terbentuk. Model bangunan biogas terdiri atas unit instalasi dan kolam. Unit instalasi antara lain *vibrating screen*, tangki pengaduk, *scrubber*, *flaring*, *chiller*, *buffer tank* dan *generator*. Sedangkan model bangunan berbentuk kolam yaitu *mill*, *Covered Lagoon*, *drain pit* dan kolam sedimentasi. Model bangunan atau teknologi yang akan digunakan oleh PT. Bio Nusantara Teknologi dengan memerhatikan faktor luas area, kondisi alam, iklim, tingkat kesukaran pengoperasian, dan ketersediaan teknologi tersebut. Faktor yang dipertimbangkan sehingga teknologi tersebut dapat digunakan yaitu dilihat dari emisi metana yang dihasilkan, tingkat kesukaran pengoperasian, serta waktu tinggal POME pada *biodigester* (HRT). Kecanggihan teknologi yang digunakan dapat dijabarkan sebagai berikut:

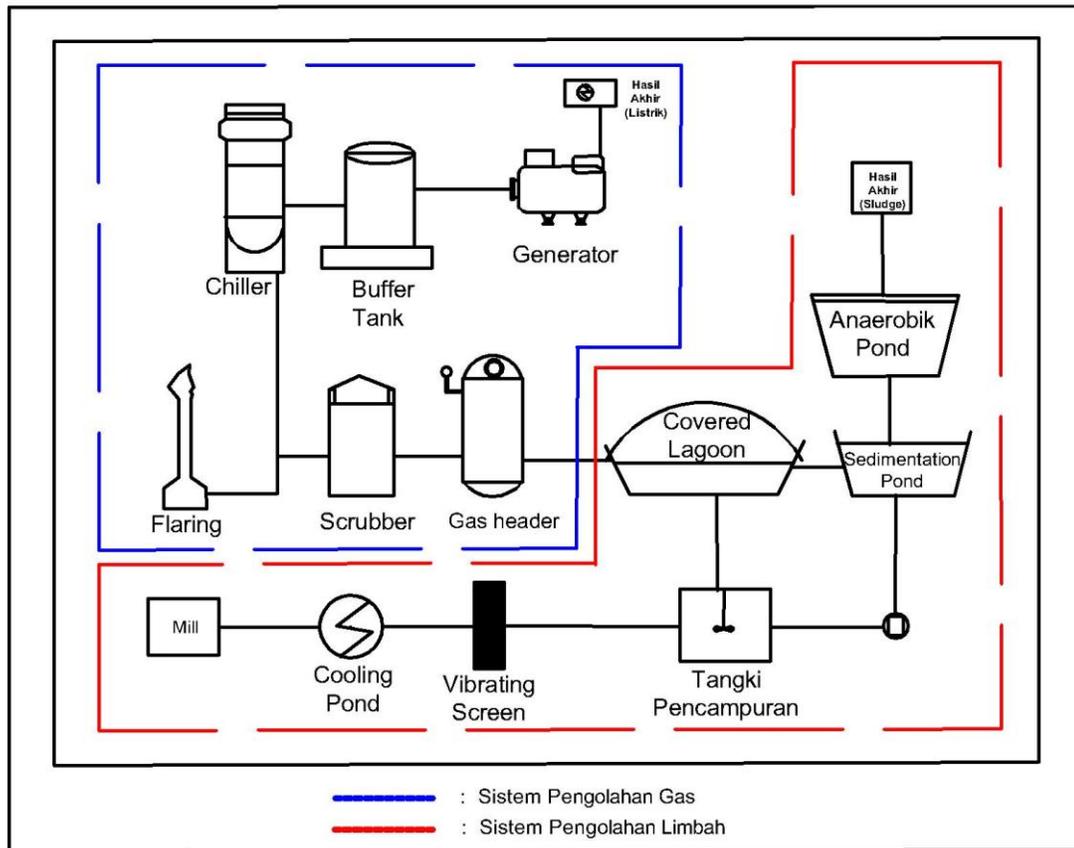
- Emisi metana yang dihasilkan baik
- Tingkat kesukaran pengoperasian rendah
- Waktu tinggal POME pada digester agak lama, yang terdiri dari kolam anaerobik, fakultatif dan aerobik dengan total waktu retensi sekitar 90-120 hari.

(Ahmed, Yakob and Akhtar, 2014)

3) Pemilihan Mesin dan Peralatan *Covered Lagoon*

Berdasarkan pedoman umum pemilihan teknologi yang dapat dipergunakan untuk mempertimbangkan pilihan teknologi, yaitu sebagai berikut:

- a. Produk yang akan dihasilkan yaitu konversi menjadi energi listrik yang akan dijual kepada pihak PLN dan akan menghasilkan keuntungan bagi Pabrik Kelapa Sawit.
- b. Kecanggihan teknologi untuk proses produksi yang dihasilkan dapat mengkonversi gas menjadi listrik namun hasil emisi gas metana belum optimal.
- c. Kemampuan teknologi menghasilkan produk dengan spesifikasi dan mutu produk yang sesuai dengan bahan *reinforced polypropylene* sehingga berfungsi sebagai *anaerobic digester*. (Proses degradasi material organik ini tanpa oksigen).
- d. Teknologi pengolahan POME umumnya dengan menggunakan teknologi *Covered Lagoon* yang terdiri dari kolam anaerobik, fakultatif dan aerobik dengan total waktu retensi sekitar 90-120 hari. Teknologi kolam tertutup ini memerlukan lahan yang luas untuk membuat kolam limbah.
- e. Teknologi yang dipilih menjamin tercapainya kapasitas produksi.
- f. Teknologi yang dipilih tidak menimbulkan kesulitan dalam ketersediaan teknologi, namun pembangunan dan perawatan cukup sulit.
- g. Teknologi *Covered Lagoon* dipergunakan di kebanyakan Negara Asia karena lebih ekonomis dan tahan terhadap iklim wilayah Asia. Teknologi ini dipergunakan di sebagian besar wilayah Indonesia, Malaysia, Thailand dan India berdasarkan info jurnal dan artikel.

4) Penentuan *Layout Covered Lagoon*

Gambar 4.3 Penentuan *Layout Covered Lagoon*

5) Detail Teknologi *Covered Lagoon*

Berikut ini adalah penjelasan dari detail sistem yang direncanakan:

a. *Cooling Pond*

POME dari pabrik kelapa sawit yang telah melalui proses akan dipompa menuju *cooling pond* untuk mendinginkan suhu agar sesuai dengan karakteristik mikroorganisme mesofilik, selain itu kandungan minyak juga akan lebih dikurangi karena dilakukan pengutipan minyak kembali. Dioperasikan 2 pompa untuk mengalirkan POME dari *cooling pond* menuju *vibrating screen*, 1 pompa sebagai cadangan apabila terjadi kerusakan pada pompa utama.

b. *Vibrating Screen*

Vibrating screen berfungsi untuk menyaring POME dari padatan-padatan seperti serat buah yang masih tersisa sebelum masuk ke *digester tank*.

Mekanisme kerjanya yaitu POME akan dialirkan menuju ayakan yang bergetar untuk dapat menyaring antara padatan dengan POME. *Vibrating screen* yang digunakan mempunyai ukuran 20 *mesh*, artinya dalam 1 inchi persegi, terdapat 20 buah lubang.

c. Tangki Pengaduk/ Pencampuran

POME dari pabrik kelapa sawit yang telah melalui proses akan dipompa menuju tangki pengaduk. Tangki pengaduk tersebut menggunakan *cooling tower* untuk mendinginkan suhu agar sesuai dengan karakteristik mikroorganisme mesofilik, selain itu kandungan minyak juga akan lebih dikurangi karena dilakukan pengutipan minyak kembali. Dioperasikan 2 pompa untuk mengalirkan POME.

d. *Covered Lagoon*

Kolam anaerobik, atau biasa disebut kolam tertutup, pada dasarnya merupakan kolam yang dilengkapi dengan membran penutup yang kuat untuk menyimpan biogas. Kolam anaerobic umumnya memiliki kontak bakteri ke substrat yang kurang baik, dengan tingkat pengolahan yang rendah. Metode tersebut memerlukan waktu retensi hidrolis antara 20–90 hari dan membutuhkan area yang besar. Pada umumnya untuk kapasitas pengolahan limbah yang sama, investasi modal untuk *Covered Lagoon* (kolam limbah tertutup) lebih rendah dibandingkan sistem tangki/CSTR, namun membutuhkan area yang lebih luas. Desain kolam tertutup biasanya untuk menangani limbah dengan kandungan padatan kurang dari 3%, dan umumnya beroperasi dalam kisaran suhu mesofilik. Operator harus menghilangkan padatan berserat pada limbah sebelum proses penguraian dapat dilakukan.

e. *Gas Header*

Gas Header berfungsi untuk mengoptimalkan kadar gas metana.

f. Kolam Sedimentasi (*Sedimentation Pond*)

Sedimentasi digunakan untuk menghilangkan *total suspended solid* atau padatan tersuspensi total (TSS) dari limbah, prosesnya dapat dipertimbangkan dalam tiga klasifikasi dasar, tergantung pada sifat padatan yang ada dalam

suspensi: dalam pengendapan diskrit, partikel mempertahankan individualitasnya dan tidak berubah dalam ukuran, bentuk atau kepadatan selama proses pengendapan. Pengendapan flokulan terjadi ketika partikel menggumpal selama periode pengendapan dengan perubahan ukuran dan laju pengendapan yang dihasilkan. Pengendapan zona melibatkan suspensi berflokulasi yang membentuk struktur kisi dan mengendap sebagai massa, menunjukkan antarmuka yang berbeda selama proses pengendapan. Pemadatan lumpur yang menetap terjadi di semua sedimentasi tetapi akan dipertimbangkan secara terpisah di bawah penebalan.

g. *Scrubber*

Dalam *digester* anaerobik pada kondisi tidak ada oksigen, sulfat berubah menjadi H_2S . Desulfurisasi dari alat *scrubber* digunakan dalam proses untuk menurunkan kandungan H_2S dalam biogas

h. *Drain Pit*

Menampung sisa limbah untuk dipompa kembali agar di *recycle*.

i. *Flare*

Flaring bertujuan untuk membakar kelebihan gas, terutama pada saat biogas tidak dapat diumpankan ke generator. Penggunaan flare dipakai apabila tidak beroperasi. Apabila kelebihan gas tersebut langsung dibuang ke lingkungan akan berbahaya karena sifatnya yang mudah terbakar serta akan melepas gas yang dihasilkan biogas ke atmosfer yang akan menimbulkan efek rumah kaca

j. *Chiller*

Chiller merupakan seperangkat peralatan yang berfungsi memisahkan kandungan air yang masih terkandung dalam biogas, dimana biogas sebagai bahan bakar harus bebas dari kadar air, dikarenakan kadar air yang tinggi akan mengganggu proses pembakaran biogas pada generator. Hal tersebut akan mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin.

k. *Buffer Tank*

Buffer tank berfungsi untuk menyimpan gas sementara dan juga sebagai cadangan gas untuk digunakan generator. Selain itu, *buffer tank* juga memiliki

fungsi untuk menghilangkan kadar air dalam gas. Terdapat 2 *blower* untuk mendorong gas menuju *engine*.

1. *Generator*

Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik yang menggunakan bahan bakar biogas. Potensi listrik yang dapat dihasilkan biogas *power plant* berdasarkan perhitungan yaitu 0,72808 MW. Dalam perencanaan, akan digunakan 2 generator dengan kapasitas 500 kw sebanyak 2 unit.

B. Perhitungan Aspek Finansial *Covered Lagoon*

Untuk mengevaluasi kelayakan berdirinya suatu pabrik dan tingkat pendapatannya, maka dilakukan analisa perhitungan secara teknik. Selanjutnya perlu juga dilakukan analisa terhadap aspek finansial dengan perhitungan nilai ekonomis. Dari hasil analisa tersebut diharapkan berbagai kebijaksanaan dapat diambil untuk pengarahannya secara tepat.

1) Estimasi Biaya Investasi *Covered Lagoon*

Modal investasi dapat dihitung dengan metode *Capital Expenditure* (CAPEX) dan *Operational Expenditure* (OPEX). *Capital Expenditure* (CAPEX) Dimana perhitungan nilai CAPEX untuk instalasi biogas dapat diestimasi dari berdasarkan harga yang ditawarkan oleh konsultan pembuatan bangunan instalasi biogas kolam limbah sebesar Rp 19.000.000.000,- dari perhitungan PT. XYZ dalam keseluruhan biaya pembuatan dan pembangunan dengan kapasitas pembangkit 0.728 MW atau setara dengan rata-rata 30 Ton/TBS. Dengan kapasitas pembangkit sejumlah 0.728 MW maka total investasi dari penguraian sistem *budgeting* CAPEX yang didapatkan sebesar Rp 19.000.000.000,-. Penjabaran hitungan CAPEX terdapat pada lampiran 11. Berikut keterangan, *persentase* dan hasil yang didapatkan dari perhitungan total investasi instalasi biogas dari CAPEX yang diperhitungkan berdasarkan literatur perhitungan CAPEX (Chin *et al.*, 2013). *Capital Expenditures* Teknologi *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup) pada tabel 4.25.

Tabel 4.26 *Capital Expenditures* Teknologi *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup) Investasi Biogas *Power Plant* PT. Bio Nusantara Teknologi

<i>Capital Expenditures</i>	Persentase	Harga
<i>Project development cost</i>	3%	Rp 570,000,000.00
<i>Site preparation and civil work</i>	5%	Rp 950,000,000.00
<i>Digester system, piping and flaring</i>	34%	Rp 6,460,000,000.00
<i>Gas cleaning and pumps systems</i>	11%	Rp 2,090,000,000.00
<i>Gas engine and generator</i>	17%	Rp 3,230,000,000.00
<i>Controller and electrical system</i>	10%	Rp 1,900,000,000.00
<i>Balance of plants</i>	11%	Rp 2,090,000,000.00
<i>Grid interconnection system</i>	4%	Rp 760,000,000.00
<i>Other cost (IDC & insurance)</i>	5%	Rp 950,000,000.00
Total Capital Expenditures	100%	Rp 19,000,000,000.00

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Chin May Ji and Et, 2013)]

Berbeda dengan CAPEX, OPEX digunakan untuk kebutuhan operasional sehari-hari dengan estimasi 4% (Chin May Ji, 2013) dari CAPEX. Maka hasil OPEX sebesar Rp 760.000.000,-. Penjabaran hitungan OPEX terdapat pada lampiran 12. Berikut tabel 4.26 mengenai keterangan biaya operasional, *persentase* dan jumlah biaya hasil perhitungan *persentase*.

Tabel 4.27 *Operational Expenditures* Teknologi *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup) Investasi Biogas *Power Plant* PT. Bio Nusantara Teknologi

<i>Operational Expenditures</i>	Persentase	Harga
<i>Operating labors</i>	25%	Rp 190,000,000.00
<i>General administration & other</i>	14%	Rp 106,400,000.00
<i>Insurance</i>	5%	Rp 38,000,000.00
<i>Digester service and maintenance</i>	17%	Rp 129,200,000.00
<i>Gas engine service and maintenance</i>	39%	Rp 296,400,000.00
Total Operational Expenditures	100%	Rp 760,000,000.00

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Chin May Ji and Et, 2013)]

2) Depresiasi *Covered Lagoon*

Depresiasi atau nilai penyusutan dapat dihitung dari aset dikalikan dengan tahun tertentu lalu dibagi dengan jumlah tahun yang akan mengalami nilai penyusutan. Depresiasi dapat dilihat dari aset tetap perusahaan yang akan

mengalami penyusutan pada periode/tahun tertentu. Hal ini dikarenakan kemampuan aset tersebut akan mengalami penurunan nilai pada setiap tahunnya.

Periode penyusutan biogas *power plant* limbah cair kelapa sawit di PT. Bio Nusantara Teknologi menggunakan periode umur waktu 15 tahun sehingga total tahun berjumlah 120. Besar tarif yang dikeluarkan setiap tahun dikalikan dengan harga perolehan mesin. Harga mesin didapat dari mesin yang digunakan untuk instalasi biogas yaitu yang berasal dari perhitungan CAPEX. Mesin yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Sistem digester, perpipaan dan *flaring*
- b) Sistem perpompaan dan *gas cleaning*
- c) *Gas engine* dan generator
- d) *Controller and electrical system*
- e) Jaringan listrik yang terhubung

Harga mesin didapat dari mesin yang digunakan untuk instalasi biogas. Detail perhitungan depresiasi dapat dilihat pada lampiran 14. Berikut tabel 4.27 mengenai nilai penyusutan alat biogas *power plant* PT. Bio Nusantara Teknologi.

Tabel 4.28 Depresiasi atau Nilai Penyusutan dari Teknologi Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

Tahun	Tarif	Dasar Penyusutan	Penyusutan
1	(15/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 2,066,250,000.00
2	(14/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,928,500,000.00
3	(13/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,790,750,000.00
4	(12/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,653,000,000.00
5	(11/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,515,250,000.00
6	(10/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,377,500,000.00
7	(9/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,239,750,000.00
8	(8/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,102,000,000.00
9	(7/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 964,250,000.00
10	(6/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 826,500,000.00
11	(5/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 688,750,000.00
12	(4/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 551,000,000.00
13	(3/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 413,250,000.00
14	(2/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 275,500,000.00
15	(1/120)	Rp 16,530,000,000.00	Rp 137,750,000.00

Tahun	Tarif	Dasar Penyusutan	Penyusutan
120		total	Rp 16,530,000,000.00

[Sumber literatur : Perhitungan Berdasarkan Referensi (Pontoh, 2013)]

3) Perkiraan Laba *Covered Lagoon*

Untuk melihat keuntungan perusahaan maka dapat dihitung keuntungan dari penjualan listrik per tahun dikurang dengan biaya operasional per tahun. Kapasitas biogas dikali dengan *availability factor* (faktor ketersediaan) sebesar 90% (Winrock, 2015), digunakan karena daya listrik yang dihasilkan pabrik akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin yang bekisar antara 90%-98%. *Availability factor* Jumlah hasil perhitungan *availability factor* digunakan sebagai kapasitas riil biogas dikalikan dengan tarif listrik sebesar Rp 1,610.00/kWh. Perhitungan laba sebelum pajak pembuatan biogas *power plant* didapatkan dari penjualan listrik pertahun sejumlah Rp 8,439,925,425.43 dikurangi dengan biaya operasional biogas atau OPEX sejumlah Rp 760.000.000 serta dikurang depresiasi. Perhitungan laba biogas Tipe CSTR terdapat pada lampiran 13. Hasil tersebut dikalikan 90%, karena terdapat pajak 10%. Maka akan didapatkan hasil laba pada tabel 4.29 sebagai berikut:

Tabel 4.29 Laba Tipe Tangki *Covered Lagoon*

Tahun	Penjualan - opex	Depresiasi	Keuntungan sebelum pajak	Keuntungan setelah pajak
1	7,679,925,425.43	2,066,250,000.00	5,613,675,425.43	5,052,307,882.89
2	7,679,925,425.43	1,928,500,000.00	5,751,425,425.43	5,176,282,882.89
3	7,679,925,425.43	1,790,750,000.00	5,889,175,425.43	5,300,257,882.89
4	7,679,925,425.43	1,653,000,000.00	6,026,925,425.43	5,424,232,882.89
5	7,679,925,425.43	1,515,250,000.00	6,164,675,425.43	5,548,207,882.89
6	7,679,925,425.43	1,377,500,000.00	6,302,425,425.43	5,672,182,882.89
7	7,679,925,425.43	1,239,750,000.00	6,440,175,425.43	5,796,157,882.89
8	7,679,925,425.43	1,102,000,000.00	6,577,925,425.43	5,920,132,882.89
9	7,679,925,425.43	964,250,000.00	6,715,675,425.43	6,044,107,882.89
10	7,679,925,425.43	826,500,000.00	6,853,425,425.43	6,168,082,882.89
11	7,679,925,425.43	688,750,000.00	6,991,175,425.43	6,292,057,882.89
12	7,679,925,425.43	551,000,000.00	7,128,925,425.43	6,416,032,882.89
13	7,679,925,425.43	413,250,000.00	7,266,675,425.43	6,540,007,882.89

Tahun	Penjualan - opex	Depresiasi	Keuntungan sebelum pajak	Keuntungan setelah pajak
14	7,679,925,425.43	275,500,000.00	7,404,425,425.43	6,663,982,882.89
15	7,679,925,425.43	137,750,000.00	7,542,175,425.43	6,787,957,882.89

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi(Soeharto, 1999)]

4) *Net Cash Flow Covered Lagoon*

Aliran kas yang didapatkan dari arus masuk dan arus keluar uang atau setara uang. Dimana dalam proyek pembuatan biogas tersebut digunakan nilai total investasi sebagai arus kas keluar dan pendapatan atau keuntungan bersih sebagai arus kas keluar. Dengan menggunakan total investasi biogas sebesar nilai aset yang telah mengalami penyusutan sebagai arus kas keluar serta keuntungan bersih sesudah pajak dapat dijadikan sebagai arus kas masuk maka akan didapatkan aliran kas selama biogas berjalannya investasi biogas *power plant* tersebut. Arus kas didapatkan dari harga penyusutan ditambah dengan laba bersih penjualan listrik (Suratman, 2001) terlihat pada tabel 4.30. Detail perhitungan rumus aliran kas dapat dilihat pada lampiran 15. Berikut perhitungan aliran kas berdasarkan literatur:

Tabel 4.30 Aliran Kas (*Net Cash Flow*) dari Teknologi Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

Tahun	Laba Bersih	Penyusutan	<i>Net Cash Flow</i>
1	Rp 16,530,000,000.00	Rp 2,066,250,000.00	Rp 7,118,557,882.89
2	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,928,500,000.00	Rp 7,104,782,882.89
3	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,790,750,000.00	Rp 7,091,007,882.89
4	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,653,000,000.00	Rp 7,077,232,882.89
5	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,515,250,000.00	Rp 7,063,457,882.89
6	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,377,500,000.00	Rp 7,049,682,882.89
7	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,239,750,000.00	Rp 7,035,907,882.89
8	Rp 16,530,000,000.00	Rp 1,102,000,000.00	Rp 7,022,132,882.89
9	Rp 16,530,000,000.00	Rp 964,250,000.00	Rp 7,008,357,882.89
10	Rp 16,530,000,000.00	Rp 826,500,000.00	Rp 6,994,582,882.89
11	Rp 16,530,000,000.00	Rp 688,750,000.00	Rp 6,980,807,882.89
12	Rp 16,530,000,000.00	Rp 551,000,000.00	Rp 6,967,032,882.89
13	Rp 16,530,000,000.00	Rp 413,250,000.00	Rp 6,953,257,882.89
14	Rp 16,530,000,000.00	Rp 275,500,000.00	Rp 6,939,482,882.89

Tahun	Laba Bersih	Penyusutan	Net Cash Flow
15	Rp 16,530,000,000.00	Rp 137,750,000.00	Rp 6,925,707,882.89

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Suratman, 2001)]

5) *Break Even Point (BEP) Covered Lagoon*

Jumlah penjualan pada tingkat *break even point* dibuat untuk mengetahui jumlah penjualan pada masa tertentu dimana proyek tidak memperoleh keuntungan tetapi juga tidak menderita kerugian. *Break Even Point* Tipe *Covered Lagoon* (kolam limbah tertutup) sebesar 9% atau jika dirupiahkan senilai Rp 760,000,000.00. Perhitungan *persentase break even point* didapat dari biaya tetap dibagi dengan pengurangan antara harga jual listrik dan biaya variabel. Perhitungan *Break Even Point* terdapat pada lampiran 16. Berikut tabel 4.31 yang menjelaskan mengenai rincian perhitungan yang didapat untuk *Break Even Point* Tipe Tangki CSTR

Tabel 4.31 *Break Even Point* Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

Parameter	Nilai
Jumlah listrik	0.72808
Harga Jual Listrik	Rp 8,439,925,425.43
Biaya Tetap/Operasional	Rp 760,000,000.00
Biaya Variabel	Rp 190,000,000.00
<i>Break Even Value</i> (%)	9%
<i>Break Even Value</i> (RP)	Rp 760,000,000.00

[Sumber literatur : Penulis berdasarkan Referensi (Nitisemito and Burhan, 2007)]

6) Ringkasan Analisa Ekonomi *Covered Lagoon*

Berdasarkan analisis data dan perhitungan bahwa kapasitas total produksi sebanyak 0.728 MW dengan total Investasi sebesar Rp 19,000,000,000,- dengan total biaya operasional yang dikeluarkan setiap tahun sebanyak Rp 760,000,000. Maka akan akan didapatkan keuntungan dari penjualan listrik sebesar Rp 7,679,925,425.43,- namun dikurangi dengan pajak sebesar 10%. Jadi total keuntungan bersih (laba bersih) yang didapat dari penjualan listrik sebesar Rp 6,911,932,882,-. Berdasarkan analisis data yang ada pada Tabel 4.32, terlihat

bahwa usaha penjualan listrik dari biogas *power plant* dengan kapasitas 0.72808 MW.

Tabel 4.32 Ringkasan Analisis Ekonomi Penjualan Listrik dari Teknologi Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

No.	Parameter	Unit	Nilai
1.	Kapasitas listrik yang digunakan	kWh/hari	-
2.	Kapasitas listrik	MW	0.78208
3.	Total investasi (CAPEX)	Rp	Rp 19,000,000,000
4.	Total biaya operasional (OPEX)	Rp/thn	Rp 760,000,000
5.	Total pendapatan (Penjualan listrik)	Rp/thn	Rp 8,439,925,425.43
6.	<i>Break even point</i>	Rp/thn	Rp 760,000,000
7.	Persentase pada BEP	%	9%
8.	Penyusutan	Rp/thn	Rp 16,530,000,000.00

1. *Net Present Value (NPV) Covered Lagoon*

Net Present Value (NPV) Tangki CSTR didapat dari dengan *present value factor (PVF)* yaitu faktor pengali untuk mengetahui besarnya nilai uang apabila kita menerimanya pada tahun yang akan datang. Nilai arus kas pada periode t dikalikan dengan *diskon factor* yaitu 15%. Dengan nilai NPV yang didapatkan dari total investasi sebesar Rp 19,760,000,000.00 dikurangi jumlah *present value* didapatkan sebesar Rp 61,017,146,175.74. Perhitungan NPV dapat dilihat pada lampiran 17. Berikut tabel hasil perhitungan NPV pada 4.33 sebagai berikut:

Tabel 4.33 *Net Present Value (NPV) Covered Lagoon*

Year	Net cash flow	Discount factor 15%	Present value
0	-Rp 19,760,000,000.00	0	Rp 19,760,000,000.00
1	Rp 7,118,557,882.89	0.869565217	Rp 6,190,050,332.94
2	Rp 7,104,782,882.89	0.756143667	Rp 5,372,236,584.41
3	Rp 7,091,007,882.89	0.657516232	Rp 4,662,452,787.30
4	Rp 7,077,232,882.89	0.571753246	Rp 4,046,430,870.61
5	Rp 7,063,457,882.89	0.497176735	Rp 3,511,786,930.13
6	Rp 7,049,682,882.89	0.432327596	Rp 3,047,772,452.70

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
7	Rp 7,035,907,882.89	0.37593704	Rp 2,645,058,382.66
8	Rp 7,022,132,882.89	0.326901774	Rp 2,295,547,695.60
9	Rp 7,008,357,882.89	0.284262412	Rp 1,992,212,716.23
10	Rp 6,994,582,882.89	0.247184706	Rp 1,728,953,914.35
11	Rp 6,980,807,882.89	0.214943223	Rp 1,500,477,343.50
12	Rp 6,967,032,882.89	0.18690715	Rp 1,302,188,261.40
13	Rp 6,953,257,882.89	0.162527957	Rp 1,130,098,796.00
14	Rp 6,939,482,882.89	0.141328658	Rp 980,747,802.96
15	Rp 6,925,707,882.89	0.122894485	Rp 851,131,304.95
	<i>Net Present Value</i>		Rp 61,017,146,175.74

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

2. *Internal Rate Return (IRR) Covered Lagoon*

Metode *Internal Rate of Return (IRR)* berkaitan dengan NPV, karena IRR dapat dilihat sebagai *discount rate* yang menjadikan NPV dari investasi sama dengan nol atau mendiskonto seluruh *net cash flow* sehingga akan menghasilkan jumlah NPV yang sama dengan nol. NPV yang digunakan yaitu NPV1 dan NPV2. NPV1 yaitu dengan perhitungan menggunakan *discount factor* yang akan menghasilkan nilai positif, sementara NPV2 yaitu dengan perhitungan menggunakan *discount factor* yang akan menghasilkan nilai negatif (Rangkuti, 2012).

Tabel 4.34 *Net Present Value (NPV) 1 diskonto 15% Covered Lagoon*

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
0	-Rp 19,760,000,000.00	0	Rp 19,760,000,000.00
1	Rp 7,118,557,882.89	0.869565217	Rp 6,190,050,332.94
2	Rp 7,104,782,882.89	0.756143667	Rp 5,372,236,584.41
3	Rp 7,091,007,882.89	0.657516232	Rp 4,662,452,787.30
4	Rp 7,077,232,882.89	0.571753246	Rp 4,046,430,870.61
5	Rp 7,063,457,882.89	0.497176735	Rp 3,511,786,930.13
6	Rp 7,049,682,882.89	0.432327596	Rp 3,047,772,452.70
7	Rp 7,035,907,882.89	0.37593704	Rp 2,645,058,382.66
8	Rp 7,022,132,882.89	0.326901774	Rp 2,295,547,695.60
9	Rp 7,008,357,882.89	0.284262412	Rp 1,992,212,716.23
10	Rp 6,994,582,882.89	0.247184706	Rp 1,728,953,914.35
11	Rp 6,980,807,882.89	0.214943223	Rp 1,500,477,343.50

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 15%</i>	<i>Present value</i>
12	Rp 6,967,032,882.89	0.18690715	Rp 1,302,188,261.40
13	Rp 6,953,257,882.89	0.162527957	Rp 1,130,098,796.00
14	Rp 6,939,482,882.89	0.141328658	Rp 980,747,802.96
15	Rp 6,925,707,882.89	0.122894485	Rp 851,131,304.95
	Net Present Value		Rp 61,017,146,175.74

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

Besar nilai NPV1 yang didapatkan berdasarkan rumus NPV pada tabel 4.22 sebesar Rp 61,017,146,175.74 dengan menggunakan *discount factor* 15% agar menghasilkan nilai positif dan diperhitungkan dari keuntungan berdasarkan tingkat suku bunga. Sementara pada tabel 4.23 NPV2 yang didapatkan yaitu -Rp 243,328,933.48 dengan besar *discount factor* yang digunakan yaitu 28% untuk menghasilkan nilai negatif. Perhitungan antara NPV1 dan NPV2 dengan percobaan *trial and error* hingga dapat menghasilkan nilai IRR sebesar 35.92%.

Tabel 4.35 *Net Present Value (NPV) 2 diskonto 85% Covered Lagoon*

<i>Year</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Discount factor 36%</i>	<i>Present value</i>
0	-Rp19,760,000,000.00	0	-Rp19,760,000,000.00
1	Rp7,118,557,882.89	0.740740741	Rp5,273,005,839.17
2	Rp7,104,782,882.89	0.540657439	Rp3,841,253,721.28
3	Rp7,091,007,882.89	0.397542235	Rp2,818,975,121.36
4	Rp7,077,232,882.89	0.292310467	Rp2,068,749,247.85
5	Rp7,063,457,882.89	0.214934167	Rp1,518,178,434.68
6	Rp7,049,682,882.89	0.158039829	Rp1,114,130,673.92
7	Rp7,035,907,882.89	0.116205756	Rp817,612,996.53
8	Rp7,022,132,882.89	0.085445409	Rp600,009,016.35
9	Rp7,008,357,882.89	0.062827507	Rp440,317,651.36
10	Rp6,994,582,882.89	0.046196696	Rp323,126,619.45
11	Rp6,980,807,882.89	0.033968159	Rp237,125,191.15
12	Rp6,967,032,882.89	0.024976587	Rp174,012,705.71
13	Rp6,953,257,882.89	0.018365138	Rp127,697,539.13
14	Rp6,939,482,882.89	0.013503778	Rp93,709,234.82
15	Rp6,925,707,882.89	0.009929248	Rp68,767,073.74
	Net Present Value		-Rp243,328,933.48

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi (Rangkuti, 2012)]

Tangki CSTR Nilai kelayakan tersebut dapat dilihat dari nilai IRR (*Internal Rate of Return*) yang didapat berdasarkan tingkat diskonto yaitu 15% ditambah dengan pembagian npv1 sebesar Rp 61,017,146,175.74. dibagi dengan pengurangan npv 1 dan npv 2 sebesar -Rp243,328,933.48 lalu dikalikan dengan persentase diskonto 36% dikurang 15% dengan hasil sebesar 35.92%, yang berarti lebih besar dari tingkat bunga *bank disconto* 15% yang diaplikasikan pada analisis tersebut. Perhitungan IRR dapat dilihat pada lampiran 18.

3. *Payback Period (PP) Covered Lagoon*

Payback Period (PP) dapat dihitung dari jumlah arus kas. Pada tahun awal karena mengeluarkan biaya awal maka arus kas pada tahun 0 sebesar -Rp 19,760,000,000.00 ditambah dengan arus kas pada tahun 1 Rp 7,118,557,882.89 hasil NCF kumulatif yaitu -Rp 12,641,442,117.11. Perhitungan NCF kumulatif pada tahun berikutnya didapatkan dari penjumlahan *Net cash flow (NCF)* dengan nilai kumulatif NCF pada tahun sebelumnya. Setelah itu dibuat analisa logis antara nilai dan prakiraan arus kas (NCF) dengan kumulatif arus kas (NCF) dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4.36 *Payback Period (PP) Covered Lagoon*

<i>Tahun</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Cumulative NCF</i>	<i>Index cash flow positive</i>
0	-Rp 19,760,000,000.00		
1	Rp 7,118,557,882.89	-Rp 12,641,442,117.11	0
2	Rp 7,104,782,882.89	-Rp 5,536,659,234.23	0
3	Rp 7,091,007,882.89	Rp 1,554,348,648.66	0.780800039
4	Rp 7,077,232,882.89	Rp 8,631,581,531.54	0.219626608
5	Rp 7,063,457,882.89	Rp 15,695,039,414.43	1.222005096
6	Rp 7,049,682,882.89	Rp 22,744,722,297.32	2.226346869
7	Rp 7,035,907,882.89	Rp 29,780,630,180.20	3.232663457
8	Rp 7,022,132,882.89	Rp 36,802,763,063.09	4.240966481
9	Rp 7,008,357,882.89	Rp 43,811,120,945.97	5.251267655
10	Rp 6,994,582,882.89	Rp 50,805,703,828.86	6.263578784
11	Rp 6,980,807,882.89	Rp 57,786,511,711.75	7.277911766
12	Rp 6,967,032,882.89	Rp 64,753,544,594.63	8.294278595
13	Rp 6,953,257,882.89	Rp 71,706,802,477.52	9.312691358

<i>Tahun</i>	<i>Net cash flow</i>	<i>Cumulative NCF</i>	<i>Index cash flow positive</i>
14	Rp 6,939,482,882.89	Rp 78,646,285,360.40	10.33316224
15	Rp 6,925,707,882.89	Rp 85,571,993,243.29	11.35570352

[Sumber literatur : Berdasarkan Referensi(Soeharto, 1999)]

Metode perhitungan *payback period* diambil pada tahun yang nilai kumulatif arus kas periode pengembalian yaitu dapat dilihat pada tahun ke 2 dengan rumus $n-1$ atau tahun pengembalian modal dikurangi 1. Perhitungan rumus didapatkan dari jumlah arus kas yang masih bernilai negatif yaitu pada tahun ke satu sebesar Rp 7,118,557,882.89 dan tahun ke dua sebesar Rp 7,104,782,882.89 dengan jumlah sebesar Rp 14,223,340,765.77 lalu didapatkan hasil *payback period* dengan menghitung rumus 2 ditambah total investasi Rp 19,760,000,000. dikurangi arus kas kumulatif tahun sebelum periode pengembalian sebesar Rp 14,223,340,765.77 lalu dibagi dengan arus kas tahun periode pengembalian sebesar Rp 7,091,007,882.89 dapat dilihat pada tabel 4.34 maka didapatkan hasil periode pengembalian 2.78 tahun atau kurang lebih 33 bulan.

Hasil kembalinya modal didapatkan pada jangka waktu 33 bulan. Faktor yang mendukung bahwa produksi listrik ini layak dijalankan secara komersial dapat dilihat pula pada *payback period* (kembalinya modal). Perhitungan *payback period* dapat dilihat pada lampiran 19.

Berikut tabel ringkasan analisis parameter kelayakan biogas *power plant* tipe *covered lagoon* dengan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate Return* (IRR) dan *Payback Period* (PP).

Tabel 4.37 Ringkasan Analisis Parameter Kelayakan Biogas *Power Plant* PT. Bio Nusantara Teknologi Tipe *Covered Lagoon* (Kolam Limbah Tertutup)

No	Parameter	Unit	Nilai
1	NPV (diskonto 15%) (Rp)	Rp	Rp 61,017,146,175.74
2	IRR (%)	%	35.92
3	<i>Payback period</i>	bulan	33

4.9 Analisa Perbandingan Studi Kelayakan

Setelah didapatkan analisa berdasarkan studi literatur maka didapatkan hasil dari aspek teknis berupa efisiensi pengolahan, waktu tinggal, tingkat kesukaran pengoperasian, luas lahan, Pengecekan dan Perawatan, Konsep Desain Sistem Biogas dan Bentang Alam dan Keadaan Alam yang akan dijadikan acuan perbandingan masing-masing teknologi reaktor Tangki CSTR dan *Covered Lagoon*.

Sementara itu, pada aspek finansial dilakukan perhitungan Modal Investasi (CAPEX), Total Biaya Operasional (OPEX), Perkiraan Laba, Depresiasi, *Net Present Value*, *Internal Rate Return*, dan *Payback Period* yang akan menjadi acuan perbandingan masing masing reaktor Tangki CSTR dan *Covered Lagoon*. Berikut perbandingan dari aspek teknis dan aspek finansial.

Tabel 4.38 Hasil Perbandingan Aspek Teknis Tangki CSTR dan *Covered Lagoon*

No.	Item	CSTR	<i>Covered Lagoon</i>
1.	Efisiensi	Sangat baik. Sistem tangki CSTR dilengkapi dengan <i>thickener, clarifier</i> atau <i>dissolved air floatation</i> (DAF) untuk memekatkan biomassa	Sangat baik. Karena proses pembuatan manual maka didesain dengan sangat baik namun membutuhkan pengolahan yang lama
2.	Waktu tinggal (HRT)	Sangat Baik. Metode <i>Continous Stirred Tank Reactor</i> membutuhkan waktu retensi hidrolis selama 20–40 hari	Baik. Metode <i>Covered Lagoon</i> membutuhkan waktu retensi hidrolis selama 20–90 hari
3.	Tingkat kesukaran pengoperasian	Baik. Proses pengolahan menggunakan mesin.	Sangat baik. Proses pengolahan manual
4.	Luas Lahan	Luas lahan relatif sedikit	Membutuhkan luas lahan yang besar
5.	Pengecekan dan Perawatan	3 bulan sekali	Rutin 1 bulan sekali
6.	Konsep Desain Sistem Biogas	Baik. Sistem tangki CSTR dilengkapi dengan mesin pengaduk mekanik, digunakan untuk limbah kandungan padatan 3-10%	Baik. Desain sederhana limbah pome tetap dapat diolah dengan baik
7.	Bentang Alam dan Keadaan Alam	Penggunaan teknologi CSTR lebih tepat karena kondisi alam di PT. BNT	Penggunaan <i>Covered Lagoon</i> dikhawatirkan akan merusak instalasi apabila bencana alam terjadi

Tabel 4.39 Hasil Perbandingan Aspek Teknis Tangki CSTR dan *Covered Lagoon*

No.	Item	CSTR	<i>Covered Lagoon</i>
1.	Modal Investasi (CAPEX)	Rp 24,669,599,136	Rp 19,000,000,000
2.	Total Biaya Operasional (OPEX)	Rp 986,783,965	Rp 760,000,000
3.	Penyusutan mesin	Rp 21,462,551,249	Rp 16,530,000,000.00
4.	<i>Net Present Value</i>	Rp14,658,092,362.37	Rp 61,017,146,175.74
5.	<i>Internal Rate Return</i>	26.75%	35.92%
6.	<i>Payback Period</i>	44 bulan	33 bulan
7.	<i>Break Even Point</i> (Persentase)	12%	9%
8.	<i>Break Even Point</i> (Nilai uang)	Rp 986,783,965	Rp 760,000,000

4.10 Pembahasan

Biogas *Power plant* dibuat untuk mengurangi emisi dan menambah keuntungan perusahaan. Apabila limbah di buang langsung ke lingkungan akan meningkatkan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pembuatan biogas *power plant* di PT. Bio Nusantara Teknologi bertujuan untuk mengurangi peningkatan emisi gas rumah kaca dilingkungan serta dapat menghasilkan keuntungan bagi perusahaan. Pembuatan biogas *power plant* diharapkan dapat memaksimalkan penggunaan energi terutama dari limbah sisa pabrik kelapa sawit.

Teknologi biogas *power plant* yang dianalisa dan diperhitungkan terdapat 2 tipe reaktor yaitu berupa tangki CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) dan *Covered Lagoon* (kolam limbah tertutup). Pemilihan 2 tipe reaktor tersebut dilihat berdasarkan kelemahan dan kelebihan masing–masing reaktor lalu kedua reaktor akan diperhitungkan nilai keekonomisan serta efisiensi dalam mengolah limbah kelapa sawit menjadi energi. Sebelum membuat biogas *power plant*, emisi terlebih dahulu diperhitungkan atau dapat dilihat dari data sekunder. Perhitungan emisi dari pengurangan CH₄ dengan metode IPCC maka nilai penurunan emisi di PT. BNT dengan adanya biogas *power plant* akan berkurang sebanyak 83,83%.

Setelah perhitungan emisi kemudian ditentukan pemilihan teknologi reaktor yang berbeda agar hasilnya dapat diperbandingkan. Pemilihan reaktor *Covered Lagoon* dan tangki CSTR dipilih sebagai perbandingan efisiensi pengolahan dan penilaian secara finansial keekonomisan pembangunan biogas *power plant*. Diharapkan dengan kedua perbandingan tersebut dapat diperhitungkan kembali kelemahan dan kelebihan masing-masing biogas. Keuntungan yang didapat yaitu terlihat bahwa usaha penjualan listrik dari biogas *power plant* dari perhitungan listrik yang dihasilkan biogas *power plant* dengan kapasitas 0.728 MW.

4.10.2 Aspek Teknis

Pengkajian kelayakan aspek teknis teknologis didapatkan dari pemilihan alternatif yang disajikan oleh tim teknis dan dipilih berdasarkan kriteria alternatif yang

terbaik. Pemilihan alternatif teknologi yang digunakan berdasarkan tipe reaktor pada biogas *power plant*. Alternatif terpilih adalah alternatif yang terbaik ditinjau dari beberapa aspek yang dipengaruhi lokasi daerah perencanaan, meliputi potensi luas lahan; demografi dan kontur tanah dilokasi pembuatan; operasional dan efisiensi; konsep desain sistem; sistem dan kebutuhan lainnya. Suatu kegiatan dianggap layak secara teknis teknologis apabila terdapat teknologi yang tersedia untuk pembangunan teknologi biogas *power plant*.

Perbandingan dari kedua teknologi reaktor tersebut dalam aspek teknis yaitu pemilihan reaktor tangki CSTR dari segi pengolahan lebih efisien dibanding kolam tipe *Covered Lagoon* (kolam limbah tertutup). Karena *Covered Lagoon* mengandung banyak lumpur yang sulit terurai dalam reaktor kolam limbah (Ahmed, Yakob and Akhtar, 2014). Dalam pemilihan lokasi pada perbandingan kedua tipe reaktor tersebut, tangki CSTR lebih layak apabila terjadi bencana alam banjir seperti tahun sebelumnya. Tangki CSTR lebih layak digunakan karena tangki tersebut tidak sejajar dengan permukaan tanah jadi kemungkinan kerusakan lebih sedikit apabila terjadi bencana banjir.

Sementara karena kondisi geografis di lokasi tersebut maka perancang memperhatikan hal tersebut pada aspek teknis. Pada kondisi operasional tangki reaktor CSTR lebih baik karena pengecekan dan perawatan tidak perlu dilakukan setiap saat namun pada tangki kolam limbah harus dilakukan pengecekan rutin serta perawatan yang lebih dikarenakan sering terjadi penumpukkan lumpur pada kolam limbah (Ahmed, Yakob and Akhtar, 2014). Hal tersebut yang menyebabkan efisiensi pengolahan kurang baik dibandingkan dengan tangki CSTR. Konsep desain sistem unit biogas *power plant* dibuat dengan pertimbangan luas lahan lokasi yang akan dibangun serta potensi luas lahan di wilayah pabrik kelapa sawit PT. Bio Nusantara Teknologi. Konsep desain juga dipertimbangkan dari efisiensi pengolahan, teknologi yang dipakai serta nilai secara ekonomis.

4.10.3 Aspek Finansial

Tipe teknologi tangki CSTR yang telah diperhitungkan memiliki nilai kelayakan yakni dapat dilihat dari nilai IRR (*Internal Rate of Return*) yaitu sebesar 26.75%, yang berarti lebih besar dari tingkat bunga *bank disconto* 15% yang diaplikasikan pada analisa tersebut. Faktor yang mendukung bahwa produksi listrik ini layak dijalankan secara komersial dapat dilihat pula pada *payback period* (kembalinya modal) pada jangka waktu 44 bulan. Nilai NPV dari teknologi tangki CSTR sebesar Rp 14,658,092,362.37. Dengan demikian, $NPV > 0$ berarti secara finansial usaha layak dilaksanakan karena manfaat yang diperoleh lebih besar dari biaya.

Pada teknologi *Covered Lagoon* (kolam limbah tertutup) berdasarkan analisis data serta perhitungan, terlihat bahwa usaha penjualan listrik dari biogas *power plant* dengan kapasitas 0.728 MW. Nilai kelayakan tersebut dapat dilihat dari nilai IRR (*Internal Rate of Return*) yaitu sebesar 35.92%, yang berarti lebih besar dari tingkat bunga *bank disconto* 15% yang diaplikasikan pada analisa tersebut. Dengan nilai NPV yang didapatkan sebesar Rp 61,017,146,175.74. Faktor yang mendukung bahwa produksi listrik ini layak dijalankan secara komersial dapat dilihat pula pada *payback period* (kembalinya modal) pada jangka waktu 33 bulan.

Kelayakan secara finansial dapat diketahui melalui nilai NPV, IRR dan *payback period*. Pada kedua perbandingan tipe reaktor yaitu tangki CSTR dan kolam limbah nilai NPV sama-sama menunjukkan bahwa $NPV > 0$. Nilai NPV tangki CSTR sebesar Rp 14,658,092,362.37. Sementara nilai NPV tangki *Covered Lagoon* sebesar Rp 61,017,146,175.74. Nilai NPV dapat menunjukkan keuntungan yang akan diperoleh selama umur investasi, merupakan jumlah nilai penerimaan arus tunai. Dalam perhitungan NPV kedua reaktor sudah dapat dianggap layak untuk dijalankan pembangunan proyek biogas *power plant* karena nilai $NPV > 0$. Namun yang dapat menghasilkan lebih banyak keuntungan yaitu tangki kolam limbah. Pada perhitungan IRR atau tingkat rata-rata keuntungan internal tahunan tangki CSTR sebesar 26.75% sementara nilai IRR pada kolam limbah 35.92%. Nilai tersebut lebih dari *disconto*

yang telah ditentukan dapat menunjukkan bahwa perbandingan tipe reaktor proyek biogas layak untuk dilaksanakan. Dalam proyek pembuatan biogas *power plant* waktu pengembalian investasi (*payback period*) yaitu untuk tangki CSTR selama 33 bulan sementara untuk tipe kolam limbah selama 44 bulan dengan memperhitungkan suku bunga. Analisis kelayakan untuk waktu pengembalian investasi yang sebentar dengan umur investasi 15 tahun maka dapat dinyatakan layak untuk investasi.