SKEMA JCM (JOINT CREDITING MECHANISM) PADA INVESTASI FASILITAS PEMURNIAN BIOGAS DI PABRIK KELAPA SAWIT

Irhan Febijanto

Peneliti Utama
BPP Teknologi
Pusat Pengembangan Industri dan
Proses Energi-BPPT, Gedung 720,
Lt.2, Klaster Inovasi dan Bisnis
Teknologi, Kawasan PUSPIPEK,
Tangerang Selatan 15314
irhan.febijanto@gmail.com

Until now, the use of biogas in Palm Oil Mill (POM) is still limited to use as a fuel for Biogas Power Plant or utilize an additional boiler fuel. The use of biogas to be taken to other places is constrained by the remote location of POM and the transportation method. However, by converting biogas into bio-CNG, it can be used as vehicle fuel. The investment feasibility study of bio-CNG production facilities was carried out for two case studies, in POM with a capacity of 30 t/hr and 60 t/hr. The funding uses 100% of the equity fund and subsidy of the Joint Crediting Mechanism (JCM) scheme. Using the JCM scheme, the value of investment gets 50% funding assistance, and carbon credits from the reduction of Greenhouse Gas (GHG) emissions belong to the Japanese government. As a result of the study, it is known that the development of bio-CNG production facilities with 100% equity, IRR of both POM is below 11.08%, so it is not economically feasible. From the sensitivity analysis, it indicates that the increase in selling price of bio-CNG of +10%, a decrease in the investment of -10%, an increase in biogas input of +10% still cannot increase the Internal Rate of Return (IRR) value. Funding from JCM of 50% of the investment value increased the IRR value of 30t/hr and 60t/hr increasing from 6.54% to 18,29% and from 8.13% to 20.82%, respectively. The values of IRR became higher rather than the benchmark (IRR=11.08%). Carbon emissions reduction of the operation of the bio-CNG production facility and the use of bio-CNG for vehicle fuels in both of POMs are 38,735 tCO₂/yr and 77,471 tCO₂/yr, respectively. Using subsidy from carbon credits or other incentives will significantly help improve the economically feasible of bio-CNG production facilities in POM.

Keywords: Wastewater, Palm Oil Mill, Bio-CNG, Credit Carbon

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, dimana produksinya terus meningkat dari tahun ke tahun seperti ditunjukkan. Peningkatan produksi sejalan dengan peningkatan area perkebunan, dimana pada tahun 2016, luas area perkebunan mencapai 14,0 x 10⁶ ha, dengan produksi minyak kelapa sawit 37,8 x 10⁶ ton/tahun, dan diperkirakan luas area perkebunan meningkat menjadi 14,0 x 10⁶ ha dan produksi minyak kelapa sawit meningkat menjadi 37,8 x 10⁶ton/tahun pada tahun 2017 (Statistik Perkebunan Indonesia, 2017) [1]. Peningkatan produksi minyak kelapa sawit diikuti juga dengan peningkatan limbah kelapa sawit yang dihasilkan dari proses di pabrik kelapa sawit, yang terdiri dari limbah padat maupun limbah cair.

Beberapa penelitian terkait dengan pemanfaatan limbah padat (Tandan Kosong Kelapa Sawit/TKKS, serabut, cangkang) maupun cair, sudah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian terkait pemanfaatan limbah padat untuk mengatasi dampak lingkungan dan meningkatkan nilai tambah dari limbah, telah dilakukan di penelitian - penelitian sebelumnya, seperti pemanfaatan TKKS untuk *mulching* [2], media jamur [3], bahan baku kompos [4], bahan baku furniture [5], bio pellet [6], pemanfaatan cangkang untuk sebagai bahan baku biobriket arang [7], bahan substitusi *carbon black* bahan pengisi kompon karet [8] , bahan baku arang aktif [9], sebagai bahan pengawet [10], bahan pengisi agregat kasar beton [11], pemanfaatan serabut untuk digunakan untuk media jamur [12], material peredam akustik [13] , bahan baku selulosik untuk

produksi gula [14], campuran bahan baku beton ringan [15].

Penelitian terkait limbah cair (POME/*Palm Oil Mill Effluent*) umumnya terbatas pada pemanfaatan biogas untuk bahan bakar Pemangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) pembangkit listrik biogas [16] atau suplai ke boiler yang ada untuk menambah bahan bakar dan mengurangi pemakaian bahan bakar padat (limbah kelapa sawit) [17]. Implementasinya untuk PLTBg sudah banyak dioperasikan, namun pada umumnya hanya untuk membangkitkan listrik suplai kebutuhan sendiri, akibat rendahnya tarif jual listrik ke grid PT PLN [18].

Pemanfaatan biogas hanya terbatas pada pemanfaatan setempat sebagai bahan bakar pembangkit, dan pilihan lain untuk memanfaatkan di ke tempat lain mengalami kendala dengan alasan transportasi dan infrastruktur (pemipaan). Lokasi Pabrik Kelapa Sawit (PKS) umumnya merupakan lokasi terpencil jauh dari demand energi, sehingga pemanfaatan di luar area PKS sangat menyulitkan dari segi transportasi atau pun infrastruktur pemipaan.

Dengan cara pemurnian biogas dan peningkatkan tekanan, maka biogas dapat dimanfaatkan sebagai bio-CNG yang lebih mempermudah dari segi transportasi, dan dengan meningkatkan densitas energi, maka dapat mengurangi biaya transportasi. Pemanfaatan limbah cair untuk bio-CNG [19] dengan sumber biogas dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit, belum dilakukan di Indonesia. Untuk itu makalah ini diharapkan dapat menjadi pembuka wawasan dan referensi terkait pemanfaatan bio-CNG di Indonesia.

1.2 Pemanfaatan Bio-CNG

. Pemanfaatan bio-CNG paling banyak telah dilaksanakan di negara-negara Eropa terutama dalam pemanfaatan limbah biomasa, kotoran ternak, dimana negara Jerman paling banyak memiliki fasilitas produksi bio-CNG, sedangkan di Asia, Korea memiliki bio-CNG terbanyak [20,21]. Bio-CNG mempunyai karakteristik yang sama dengan CNG (*Compressed Natural Gas*) dari gas alam, sehingga dampak penggunaan ke mesin [22] dan karakteristik emisi yang dikeluarkan terbukti sama dengan CNG dari gas bumi. Sehingga bio-CNG dapat diperlakukan sama dengan CNG, seperti diinjeksikan ke jaringan gas (jargas)[21,22], sebagai bahan bakar pengganti dari LPG (*Liquid Petroleum Gas*), minyak solar/HSD (High Speed Diesel/IDO (*Industrial Diesel Oil*)) di beberapa pembangkit milik PT PLN [23,22], dimanfaatkan untuk bahan bakar transportasi, seperti pada bus Trans-Jakarta [24], kendaraan [25] atau taksi dan mikrolet [26]. Pemanfaatan energi bio-CNG memang tidak dapat menggantikan kebutuhan bahan bakar untuk transportasi di Indonesia yang sangat besar, namun pemanfaatan bio-CNG dapat membantu meningkatkan keamanan energi nasional serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil import, serta berkontribusi pada percepatan capaian target energi baru dan terbarukan, yang ditargetkan sebesar 25% dari rasio energi mix di tahun 2025 [27] (Peraturan Pemerintah No.79/2014, dan target pengurangan Gas Rumah Kaca (GRK) sebanyak 26% dengan upaya sendiri dan 41% dengan bantuan asing, di tahun 2030 [28]).

Namun sampai saat ini, biogas dari POME belum banyak dimanfaatkan, baru satu-satunya di dunia beroperasi di PKS Sei Tengi, Malaysia, dimana produksi bio-CNG digunakan untuk substitusi LPG (*Liquid Petroleum Gas*) [29]. Indonesia sebagai produsen CPO terbesar di dunia, jelas mempunyai potensi bio-CNG terbesar, dan ini harus dapat dimanfaatkan secara optimal. Namun sampai saat ini penelitian dan kajian terkait pemanfaatan bio-CNG dari POME di Indonesia sangat minim.

1.3 Joint Crediting Mechanism

Pemanfaatan pengurangan GRK bukan merupakan kewajiban pemerintah Indonesia, namun beberapa negara maju, seperti Jepang, mempunyai kewajiban untuk mengurangi GRK. Dengan kerjasama pengurangan emisi secara bilateral, telah ditandatangani kerjasama *Joint Crediting Mechanism* [31].

Jepang memberikan subsidi untuk investasi proyek-proyek yang mengurangi emisi GRK [30], pemerintah Indonesia mensyaratkan proyek tersebut merupakan proyek dengan teknologi terbaru di bidangnya dimana besaran subsidi adalah 50% dari nilai investasi untuk proyek pertama, 40% untuk proyek kedua dan 30% untuk proyek ketiga, keempat dan selanjutnya [32].

Semenjak tahun 2014, sudah 17 proyek sudah terdaftar di Komite JCM, 18 proyek dalam proses registrasi, serta sudah dilaksanakan 115 studi untuk proyek JCM di Indonesia. Proyek investasi *Waste Heat Recovery* di PT Semen Indonesia merupakan proyek terbesar dalam pengurangan emisi sebesar 149.063 tCO₂/thn, dan proyek instalasi pendingin berefisiensi tinggi merupakan proyek pertama skema JCM di Indonesia [33].

Investasi bio-CNG di PKS, merupakan jenis proyek pertama di Indonesia dan sesuai dengan kriteria skema JCM. Dalam perhitungan pengurangan emisi GRK dari kegiatan produksi bio-CNG dan penggunaan bio-CNG untuk bahan bakar di PKS, perlu dihitung emisi saat proyek belum berjalan dan saat proyek berjalan.

Emisi saat proyek belum berjalan, adalah Emisi gas metana yang dikeluarkan pada saat kegiatan proyek belum dimulai, dan ketika proyek dimulai gas metana tersebut tidak dikeluarkan ke udara bebas/atmosfir. Perhitungan estimasi gas metana dari kolam anaerobic ke udara bebas dihitung berdasarkan metodologi dari

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) [34], ditunjukkan di persamaan (1).

$$MEP_{ww,treatment,y} = Q_{ww,y} \times B_{o,ww} \times UF_{PJ} \times \Sigma COD_{removed,PJ,k,y} \times MCF_{ww,treatment,PJ,k} \quad (1)$$

keterangan:

MEP_{ww,treatment,y}	:	Potensi gas metana dari kolam anaerobic yang dilengkapi dengan system penangkapan gasbio (t/thn)
Q_{ww,y}	:	Jumlah limbah air (t/m ³)
B_{o,ww}	:	Kapasitas produksi gas metana pada limbah air, 0,25 kg (CH ₄ /kgCOD)
UF_{PJ}	:	Faktor koreksi model untuk perhitungan ketidakpastidak model, 1,12
COD_{removed,PJ,k,y}	:	Jumlah COD yang terambil/terolah (m ³ /thn).
MCF_{ww,treatment,PJ,k}	:	0,8 (kolam anaerobic dalam)

Emisi saat proyek berjalan, adalah emisi saat produksi bio-CNG yang menggunakan energi dari gas metana. Dimana pada proses ini tidak ada emisi yang dikeluarkan, dan karena distribusi dilakukan di PKS, maka tidak ada emisi transportasi yang dikeluarkan. Emisi yang dikeluarkan adalah emisi dari konsumsi bio-CNG untuk bahan bakar kendaraan, perhitungan menggunakan metodologi dari *UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)* [35]. Emisi yang dikeluarkan dihitung dengan persamaan (2).

$$ER = FS_{Bio-CNG} \times NCV_{bio-CNG} \times EF_{CO_2,NGC} \quad (2)$$

keterangan:

FS_{Bio-CNG}	:	jumlah bio-CNG yang digunakan untuk bahan bakar (tCH ₄ /thn)
NCV_{bio-CNG}	:	emisi faktor CNG (56,1 tCO ₂ /GJ)[35]
EF_{CO₂,NGC}	:	Nilai kalori bio-CNG, (55.400 MJ/t-CH ₄)

2. METODE DAN BAHAN

Gambar 1 Alur Kajian

Gambar 1 menunjukkan alur kerja penelitian yang dilakukan. Langkah pertama adalah melakukan estimasi alir biogas dengan menggunakan metodologi dari *UNFCCC* [34] pada PKS dengan kapasitas masing-masing 30ton/jam dan 60 ton/jam, dan kapasitas faktor 75% untuk keduanya. Dari estimasi laju alir biogas untuk masing masing kapasitas, dilakukan estimasi investasi fasilitas produksi bio-CNG.

Analisa sensitivitas dengan parameter di Tabel 1 untuk kedua kondisi kapasitas pabrik dilakukan, dengan dan tanpa subsidi dari JCM.

2.1. Estimasi Investasi Fasilitas Pemurnian Biogas

Nilai investasi Fasilitas Pemurnian Biogas ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu

- Anerobic Digester
- Pemurnian Biogas
- Transfer Station

Nilai investasi fasilitas pemurnian biogas ditentukan bergantung kepada laju alir biogas [37], sehingga laju

laur biogas perlu dihitung berdasarkan persamaan (1), dimana laju alir biogas bergantung kepada jumlah POME, besaran COD dan kondisi kolam anaerobic. Kolam anaerobic diasumsikan mempunyai kedalaman lebih dari 2 m dan dalam kondisi anaerob.

Dari jumlah berat gas metana yang didapat, dikonversikan ke energi untuk estimasi kapasitas pembangkit. Dengan menggunakan berat jenis gas metana pada tekanan 1 atm dan suhu 20°C: 0,668 kg/m³, volume gas metana dapat diketahui. Persentase gas metana dan biogas adalah 60%, sehingga dapat diketahui volume biogas dalam satu tahun dan diketahui laju alir biogas.

10% berat dari gas metana digunakan untuk kebutuhan energi bahan bakar pembangkit untuk mensuplai kebutuhan listrik fasilitas produksi bio-CNG. Pembangkit listrik dan fasilitas kebutuhan produksi bio-CNG mempunyai kapasitas faktor, 90%. Perhitungan kapasitas *gas engine* untuk estimasi kapasitas total dan gas engine untuk kebutuhan sendiri menggunakan persamaan (3). Estimasi kapasitas gas engine untuk kapasitas total menggunakan 90% dari total energi gas metana, sedangkan sisa 10% energi gas metana digunakan untuk estimasi besar kapasitas total gas engine untuk kebutuhan sendiri.

$$P = \frac{EF \times 278 \left(\frac{kWh}{MJ} \right) \times CV_{CH_4} \left(\frac{MJ}{tCH_4} \right) \times M_{CH_4} \left(\frac{tCH_4}{thn} \right)}{8760 \left(\frac{jam}{thn} \right) \times CF} \quad (3)$$

keterangan

- P** : Kapasitas Gas Engine (kW)
EF : Efisiensi gas engine (40%)
CV_{CH₄} : Nilai kalori gas metana (55.400 MJ/tCH₄)
M_{CH₄} : Massa gas metana (tCH₄/thn)
CF : Kapasitas Faktor (90%).

Estimasi nilai investasi *anaerobic digester* (AD) menggunakan persamaan (4). Nilai 2.778.896 (USD/MW) adalah satuan investasi untuk PLTBg dengan teknologi *covered lagoon*, dimana 75% adalah nilai investasi tanpa gas engine [38,39].

$$\text{Investasi AD (USD)} = 75\% \times 2.778.896 \text{ (USD/MW)} \times P/1000 \quad (4)$$

Gambar 2 Fasilitas Produksi Bio-CNG dan Alur Gas

Gambar 2 menunjukkan alur proses biogas menjadi bio-CNG. PKS menghasilkan limbah cair (POME/*Palm Oil Mill Effluent*), biogas yang dihasilkan dari limbah cair ditampung pada biodigester yang terbuat dari cover HDPE (*High Density Polyethilen*). Kemudian biogas dimurnikan melalui ① *Biogas Purification Facility* untuk meningkatkan kadar CH₄ dengan menghilangkan gas-gas lain, seperti H₂S, CO₂, NH₄, O₂. Setelah kadar CH₄ mencapai 99%, untuk penyimpanan dan distribusi gas, dilakukan peningkatan tekanan sampai 200 bar melalui ② compressor, kemudian dimasukkan dalam tanki bio-CNG. Pada setasiun pengisian bio-CNG, melalui ③ dispenser dialirkan ke end user.

Gambar 3 Hubungan Satuan Investasi Fasilitas Pemurnian Biogas dengan Laju Alir Biogas

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara satuan nilai investasi fasilitas pemurnian biogas dengan teknologi membran (USD/(Nm³/jam)) dan laju alir biogas (Nm³/jam)[39], yang dinyatakan dalam persamaan (5).

$$Y = 2 \times 10^{-8}x^4 - 5 \times 10^{-5}x^3 + 0,0566x^2 - 30,211x + 8486,9 \quad (5)$$

keterangan:

Y : nilai satuan investasi (USD/(Nm³/jam))

X : laju alir biogas (Nm³/jam)

Transer Station terdiri dari kompresor, dispenser, *dual hose time-fill*, *storage tank*, *fuel management system* [41] dan *gas dryer*. Nilai investasi Transfer Station menggunakan data dari US Energy Report [42].

2.2. Analisa Keekonomian

Tabel 1 menunjukkan parameter analisa keekonomian.

Tabel 1 Asumsi Parameter Keekonomian

Parameter	Nilai
Benchmark	11,08%
Ekuitas	100%
Life time (n)	15
Inflasi	4.3%
Depresiasi	15
Harga jual bio-CNG	8 USD/MMBTU
Kenaikan harga jual	4.3%/5 tahun

Benchmark adalah 11,08% yang merupakan batasan nilai keekonomian proyek yang ditentukan dari nilai rata-rata[43] atau bunga bank pemerintah untuk pinjaman modal selama 5 tahun ke belakang (2014-2018)[43]. Pembangunan fasilitas pemurnian biogas merupakan proyek pioneer, sehingga akan sulit mendapat pinjaman dari bank, sehingga digunakan ekuitas 100%. Usia pakai AD dan PT adalah 15 tahun[44]. Nilai inflasi ditentukan dari nilai rata-rata inflasi dalam kurun 5 tahun ke belakang (2014-2018), yaitu 4.3%[45]. Depresiasi diasumsikan sama dengan usia pakai proyek, yaitu 15 tahun. Harga jual disesuaikan dengan harga jual gas dari PGN, yaitu 8USD/MMBTU. Asumsi kenaikan harga jual bio-CNG mengikuti Permen ESDM No. 58/2017, dimana nilai jual gas bumi dievaluasi setiap 5 tahun sekali dan disesuaikan dengan kondisi keekonomian saat itu. Harga jual bio-CNG disamakan dengan harga jual gas dari PGN, yaitu 8USD/MMBTU[46], di dalam analisa keekonomian ini, nilai jual bio-CNG disesuaikan setiap 5 tahun sekali terhadap rata-rata nilai inflasi 2013-2018, yaitu 4,3%.

Perhitungan IRR menggunakan persamaan (6) dengan parameter di Tabel 1. Perhitungan IRR menggunakan satuan USD, untuk menyesuaikan harga jual gas yang berlaku.

$$IRR = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (6)$$

keterangan:

IRR	: Internal Rate of Return 8%)
T	: Efisiensi gas engine (40%)
t	: periode proyek (thn)
r	: Bunga bank (%)
C _t	: Aliran kas selama proyek berjalan (USD)
C ₀	: Nilai investasi awal (USD)

Analisa keekonomian dilakukan terhadap Studi Kasus 1 dan Studi Kasus 2, dengan kondisi seperti ditunjukkan di Tabel 2.

Tabel 2 Kondisi Studi Kasus

Kasus	Kapasitas Pabrik	Pendanaan
1	30 t/jam	100% equity
		100% equity + subsidi JCM
2	60 t/jam	100% equity
		100% equity + subsidi JCM

3. HASIL DAN DISKUSI

Tabel 3 menunjukkan jumlah TBSolah, POME, potensi gas metana dan biogas untuk Studi Kasus 1 dan 2. Perhitungan potensi gas metana menggunakan persamaan (1).

Tabel 3 Estimasi TBS olah, POME Gas Metana dan Biogas

Kasus	Kapasitas Faktor	TBS olah	POME	Gas Metana	Biogas
	(%)	(ton/thn)	(ton/thn)	(tCH ₄ /thn)	(Nm ³ /jam)
1	75	197.100	137.970	1.744,6	221,7
2	75	394.200	275.940	3.489,2	443,5

90% dari potensi gas metana digunakan untuk estimasi kapasitas PLTBg dan sisanya 10% digunakan gas engine untuk suplai listrik kebutuhan sendiri. Kapasitas PLTBg dan gas engine tersebut dihitung persamaan (3), hasilnya ditunjukkan di Tabel 4.

Tabel 4 Penggunaan Energi Gas Metana

Kasus	Gas Metana	(tCH ₄ /thn)	kW
1	90% untuk estimasi kapasitas PLTBg	1.570,1	1.230
	10% untuk kebutuhan sendiri	174,5	137
2	90% untuk estimasi kapasitas PLTBg	3.140,3	2.460
	10% untuk kebutuhan sendiri	348,9	273

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa pengurangan emisi pada pembuatan bio-CNG dan pemanfaatan bio-CNG untuk bahan bakar kendaraan untuk tiap studi kasus adalah selisih dari emisi pada saat sebelum proyek dilaksanakan, dimana seluruh emisi gas metana terlepas ke atmosfer, dan emisi yang dikeluarkan saat proyek dilaksanakan, yaitu emisi dari bahan bakar bio-CNG. Jumlah emisi pada saat sebelum dan sesudah proyek, serta selisihnya ditunjukkan di Tabel 5.

Tabel 5 Pengurangan Emisi

Kasus	Emisi Sebelum Proyek (tCO ₂ /thn)	Emisi setelah Proyek (tCO ₂ /thn)	Pengurangan Emisi (tCO ₂ /thn)
1	43.615	4.880	38.735
2	87.230	9.759	77.471

Tabel 6 menunjukkan laju alir di tiap-tiap lokasi yang ditunjukkan di gambar 3. Lokasi 1, adalah outlet AD=inlet PT, dimana biogas dialirkan masuk ke PT. Lokasi 2, adalah outlet PT=inlet TS. Pada outlet PT, biogas telah mengalami pemurnian, dan disebut biometana, dengan kandungan gas metana mencapai lebih

dari 98%. Lokasi 3 adalah outlet compressor, dimana bio-CNG telah siap untuk disimpan dalam storage atau didistribusikan.

Tabel 6 Laju Alir Gas

Kasus	Lokasi								
	1			2			3		
	P	T	Q	P	T	Q	P	T	Q
	(MPa)	(°C)	(Nm ³ /jam)	(MPa)	(°C)	(Nm ³ /jam)	(MPa)	(°C)	(Nm ³ /jam)
1	0,1	20	199,6	2	20	6	20	20	0,6
2	0,1	20	399,1	2	20	12,0	20	20	1,2

Dari laju alir gas di tiap tiap lokasi dilakukan estimasi investasi masing-masing komponen utama fasilitas produksi bio-CNG di PKS. Nilai investasi dan biaya O&M tiap-tiap komponen utama ditunjukkan di Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7 Nilai Investasi

Nama Fasilitas	Nilai Investasi	
	Kasus 1	Kasus 2
Anaerobic Digester	2.567.091	5.134.181
Pemurnian Biogas	840.000	1.037.400
Transfer Station	141.000	141.000
Gas engine	378.822	757.644
Total	3.926.913	7.070.225

Tabel 8 Biaya O&M

Nama Fasilitas	Nilai Investasi	
	Kasus 1	Kasus 2
Anaerobic Digester	128.355	256.709
Pemurnian Biogas	16.613	33.226
Transfer Station	7.050	7.050
Gas engine	15.665	757.644
Total	167.683	321.113

Dari data Tabel 7 dan 8, dengan menggunakan parameter keekonomian di Tabel 1, dilakukan perhitungan IRR dengan persamaan (6), dan hasil perhitungan IRR dan hasil analisis sensitivitas ditunjukkan di Tabel 9. Untuk kasus 1, IRR=6,54% dan hasil analisa sensitivitas $\pm 10\%$ untuk parameter nilai investasi, TBSolah dan harga bahan bakar, menunjukkan nilainya masih berada dibawah nilai baseline, 11,08%. Pada kasus 2, IRR=8,13%, dimana hasil analisa sensitivitas $\pm 10\%$ untuk parameter nilai investasi, TBSolah dan harga bahan bakar tetap berada dibawah nilai baseline, 11,08%. Gambar 3 menunjukkan hasil dari analisis sensitivitas di tabel 6.

Tabel 9 Analisa Sensivitas

	Kasus 1			Kasus 2		
	-10%	baseline	+10%	-10%	baseline	+10%
Harga bahan bakar	4,52%	6,54%	8,44%	5,99%	8,13%	10,14%
Investasi	8,00%	6,54%	5,30%	9,69%	8,13%	6,80%
TBSolah	6,46%	6,54%	6,61%	7,85%	8,13%	8,36%

Gambar 4. Sensivitas Analisis kasus 1 (kiri) dan kasus 2 (kanan)

Tabel 10 IRR dengan Subsidi JCM

Kasus	Tanpa Subsidi	Subsidi	
		50%	30%
1	6,54%	18,29%	11,09%
2	8,13%	20,82%	13,89%

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan IRR dengan subsidi JCM sebanyak 50% dari total nilai investasi untuk proyek pertama, dan subsidi JCM 30% untuk proyek ke 3 dan seterusnya. Untuk subsidi 50%, untuk kedua kasus nilai IRR naik melebihi nilai baseline (11,08%), sedangkan untuk kasus 2, kenaikan nilai IRR untuk proyek ketiga tidak memberikan pengaruh kenaikan IRR yang menguntungkan, dimana kenaikan IRR hanya mencapai 11,09%.

Pemanfaatan bio-CNG dapat dimanfaatkan di UKM (Usaha Kecil Menengah), seperti pada usaha laundry[47], usaha kue[48] dan usaha usaha lainnya, yang sebelumnya menggunakan bahan bakar fosil lainnya. Pemakaian ini tidak terkena aturan pemerintah terkait penentuan harga jual gas ke industry strategis. Pemanfaatan CNG di UKM

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulai perhitungan investasi fasilitas produksi bio-CNG untuk pabrik PKS berkapasitas 30t/jam dan 60t/jam, dihasilkan nilai IRR yang berada dibawah baseline (bunga bank pemerintah untuk pinjaman modal) untuk kedua pabrik PKS. Namun dengan subsidi JCM sebanyak 50% untuk proyek pertama pada pabrik PKS berkapasitas 30t/jam dan 60t/jam, dapat meningkatkan nilai IRR. Untuk proyek ketiga, dengan subsidi 30% dari nilai investasi, tidak memberikan kenaikan keekonomian pada pabrik berkapasitas 30t/jam, karena kenaikan nilai IRR masih berada dibawah nilai baseline.

Penggunaan subsidi untuk fasiliias produksi bio-CNG perlu dipertimbangkan disamping pembuatan regulasi yang mensupport bisnis bio-CNG agar dapat bersaing dengan bahan bakar fossil.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Statistik Perkebunan Indonesia, 2015-2017 Kelapa Sawit*, Direktorat Jenderal Perkebunan
- [2] BRURY MARCO SILALAH dan SUPIJATNO, *Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Angsana Estate, Kalimantan Selatan*, Bul. Agroherti v.5,n.3, pp. 373-383, 2017.
- [3] LIN MARLINA, SETIARTI SUKOTJO, SIDIK MARSUDI, *Potential of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) as Media for Oyster Mushroom, Plerotus Ostratus Cultivation*, Procedia Chimistr, v.16, pp.427-431,2015.
- [4] SHAFIQUZZAMAN SIDDIQUEE, SAILI NUR SHAFAWATI, and LAILA NAHER, *Effective composting of empty fruit bunches using potential Trichoderma strains*, Biotechnology Reports, v.13, March 2017, pp.1-7, March 2017.
- [5] J. RATNASHINGAM and WAGNER, *The Market Potential of Oil Palm Empty-Fruit Bunches Particleboard as a Furniture Material*, J. Applied Sciences, v.9, n.10, pp. 1974-1979, 2009.
- [6] NASRIN, A B, VIJAYA, S., LOH, S K., ASTIMAR, A. A. and LIM, W S., *Quality Compliance and Environmental Commercial Empty Fruit Bunch (EFB) Pellet Fuel in Malaysia*, Journal of Oil Palm Research v.29,n.4, pp.507-578, Dec. 2017.
- [7] MUHAMMAD GINTA MUNTHER, ACHWIL PUTRA MUNIR, ADIAN RINDANG, *Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit dan Kelapa Limbah Sawit (Sludge) sebagai Bahan Baku Pembuatan Biobriket Arang*, J. Rekayasa Pangan dan Pertanian, v.3,n.4, pp.518-525,2015.
- [8] ZAINAL ABIDIN NASUTION dan HARRY P. LIMBONG, *Pemanfaatan Serbuk Arang Cangkang Kelapa Sawit sebagai Substitusi Carbon Blca untuk Bahan Pengisi Kompon Karet*, Jurnal Riset Teknologi Industri, v.11,n.1, pp 66-75,2017.
- [9] ELLY KURNIATI, *Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Arang Aktif*, Jurnal Penelitian Ilmu Teknik, v.8, n.2, pp.96-103,2008.
- [10] SULHATUN, *Pemanfaatan Asap Cair berbasis Cangkang Sawit sebagai Bahan Pengawet Alternative*, Jurnal Teknologi Kimia Unimal, v.1,n.1, pp.91-100,2012.
- [11] RIADI, H., dan DANIL, D., *Pemanfaatan Bahan Limbah Cangkang Sawit sebagai Bahan Pengisi Agregat Kasar pada Beton*. Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan, v.1,n.2,pp. 80-85,2016.
- [12] HERRY ISWAHYUDI, MILA LUKMANA, MUHAMMAD YUDHA, *Limbah Serabut Kelapa Sawit sebagai Media Tanam Alternatif bagi Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus)*, Jurnal Teknologi Agro-Industri v.4,n.1, pp. 11-19, 2017.
- [13] SHABRI PUTRA WIRMAN, YULIA FITRI dan WILDO APRIZA, *Karakterisasi Komposit Serat Sabut Kelapa Sawit dengan Perkat PV Ac sebagai Absorber*, Journal Online of Physics, v.1,n.2, pp.10-15, 2016.
- [14] YOJIRO KOBAYASHI and AYAOKI ISHIZAKI, *Chemical Composition of Palm Fiber and Its Feasibility as Celulosic Raw Material for Sugar Production*, Agric. Biol. Chem., v.54,n.5, pp.1183-1187,1990.
- [15] HASPIADI dan KURNIAWATY, *Pemanfaatan Limbah Padat Abu Cangkang dan Serat Kelapa Sawit dari Boiler untuk Pembuatan Bata Beton Ringan*, Jurnal Riset Teknologi Industri, v.9,n.2, pp. 120-128,2016.
- [16] MISRI GOZAN, NADJIB AULAWY, SITI FAUZIYAH RAHMAN, RACHMAWAN BUDIARTO, *Techno-Economic Analysis of Biogas Power Plant from POME (Palm Oil Mill Effluent)*, International Journal of Applied Engineering Research, v.13,n.8, pp. 6151-6157,2018.
- [17] FEBIJANTO, I., *Optimalisasi Pemanfaatan Gas Metana sebagai Sumber Energi di Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Antisipasi Harga Jual Listrik Berdasarkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangunan*, Jurnal Teknologi Lingkungan, v.19,n.01, pp.49-60,2018.
- [18] FEBIJANTO, I., *Tinjauan Komponen Harga Jual Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Teknologi Covered lagoon*, in: *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Hotel Grand Quality, Yogyakarta, pp.72-73, Mei 2017.
- [19] AMINULLAH MOHTAR, WAI SHIN HO, AHMAD MUZAMMIL IDRIS, HASLENDHA HASHIM, JENG SHIUN LIM, PENG YEN LIEW, GABRIEL LING HOH TECK, CHIN SIONG HO, *Palm Oil Mill Effluent (POME) Biogas Techno-Economic Analysis for Utilisation as Bio Compressed Natural Gas*, Chem. Engg. Transactions, v.63, pp.265-270, 2018.
- [20] NATIONAL BIOGAS IMPLEMENTATION (EPP5), *Biogas Capture and CDM Project Implementation for Palm Oil Mills*, National Key Economic Areas (NKEA), 2014, update June 2014, 9.
- [21] BERNHARD, S., and et al, *Technical -economic analysis for determining the feasibility threshold for tradable biomethane certificates*, BIOSURF Fuelling Biomethane, 2016.
- [22] R. CHANDRA, et al, *Performance evaluation of a constant speed IC engine on CNG, methane enriched biogas and biogas*, Applied Energy, v.88, n.11, pp. 3969–3977, 2011.
- [23] <https://materiselamasekolah.wordpress.com/2016/02/26/pembangkit-listrik-tenaga-gas-pltg/>
- [24] BUDISATRIYO, C.A, et al, *Meningkatkan Penggunaan Compressed Natural Gas sebagai Bahan Bakar Angkutan Umum Jakarta*, Jurnal Ketahanan Energi, v.4,n.1, pp. 1-25,2018.

- [25] LIM C, an et al, *Performance and emission characteristics of a vehicle fueled with enriched biogas and natural gases.*, Appl Energy, v.139, pp.17–29, 2015.
- [26] NURDJANAH, N., et al, *Evaluasi Penggunaan CNG Pada Angkutan Umum (Bajaj, Taksi, dan Mikrolet) di Jakarta*, Jurnal Penelitian Transportasi Darat, v.14,n.2, pp.96-111,2012.
- [27] PERATURAN PEMERINTAH No:79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN).
- [28] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011.
- [29] NASRIN ABU BAKAR, et al, *Bio-Compressed Natural Gas (Bio-CNG) Production from Palm Oil Mill Effluent (POME)*, MPOB Information Series NO.618, ISSN 1511-7871,2017.
- [30] https://www.env.go.jp/earth/cop/cop22/common/pdf/event/11/01_presentation2.pdf[diakses 30 Juni 2019]
- [31] Pasarkarbon, Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim, PMR Indonesia, 2018, pp.14-75
- [32] http://gec.jp/jcm/2018seminar_jakarta/files/2-4_GEC.pdf [diakses 30 Juni 2019]
- [33] http://jcm.ekon.go.id/id/index.php/content/MjY%253D/proyek_teregistrasi [diakses, 30 Juni 2019]
- [34] UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), (2017) *concerning Methane recovery in wastewater treatment*, III.H./Version 14, Sectoral Scope: 13 EB 53. https://cdm.unfccc.int/filestorage/A/N/F/ANF0MTK4BHZC9O7IEY68P5DJ2VRQ3X/EB53_repan17_Revision%20of%20AMS-III.H_ver14.pdf?t=bVZ8b3FuNnM5fDCh-HkC6dg9RQbKR6oj1KIY [Diakses 27 November 2018]
- [35] CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, AMS-III.AQ, Small-scale Methodology, Introduction of Bio-CNG in transportation application, Ver.02.0, sectoral scope.7, UNFCCC, pp.6-7.
- [36] Guidelines for Estimating Greenhouse Gas Emissions of Asian Development Bank Project, Asian Development Bank, pp.26.
- [37] YANG L, and et al, 2014, *Progress and Perspectives in Converting Biogas to Transportation Fuels*, *Renew Sustain Energy Rev.*,v.40 ,pp.1133–52, 2014.
- [38] RAHAYU, A.S, et al, *Buku Panduan Konversi POME menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia 2nd edition*, Winrock International, pp. 56-58,2015.
- [39] FEBIJANTO, I, *Harga Jual Bio-CNG dari POME (Palm Oil Mill Effluent) sebagai Sumber Energi Alternatif*, submitted to Serambi Engineering,2019.
- [40] BAUER F, and et al, *Biogas Upgrading – Review of Commercial Technologies*. Svenskt Gastekniskt Center (SGC) AB: Malmö, Sweden, pp. 52-53, 2013.
- [41] SMITH, M, *Associated with Compressed Natural Gas Vehicle Fueling Infrastructure*, U.S. Department of Energy, pp.12,2014.
- [42] LOH, H.P et al, 2002, *Process Equipment Cost Estimation Final Report*, U.S. Department Energy,pp.70.
- [43] https://www.bi.go.id/seki/tabel/TABEL1_26.pdf [diakses 25 Juni 2019]
- [44] RICARDO ENERGY and ENVIRONMENT, *Assessment of Cost And Benefits of Biogas and Biomethane in Ireland*, Sustainable Energy Authority of Ireland, 2017, pp.52-53.
- [45] <https://www.inflation.eu/inflation-rates/indonesia/historic-inflation/cpi-inflation-indonesia.aspx> [diakses 25 Juni 2019]
- [46] PGN, *Investor Presentation Consolidated 3M-2019 Update*, 2019.
- [47] <https://finance.detik.com/energi/d-3681770/pakai-gas-bumi-pgn-laundry-di-bogor-ini-hemat-biaya-operasi> [diakses 25 Juni 2019]
- [48] <https://finance.detik.com/energi/d-3617922/pakai-gas-bumi-pengusaha-kue-bisa-berhemat-sekaligus-jaga-kualitas> [diakses 25 Juni 2019]