POTENSI PEMANFAATAN MIKROALGA UNTUK MITIGASI EMISI CO2 (STUDI KASUS DI PLTU CILACAP)

THE POTENCY OF MICROALGA TO MITIGATE CO_2 EMISSION (CASE STUDY: CILACAP COAL FIRED POWER PLANT)

Rr. Citra Permata Kusuma Anggraini[1], Yanif Dwi Kuntjoro[2], Nugroho Adi Sasongko[3]

Universitas Pertahanan
(citra.permata@idu.ac.id)

Abstrak - Proyek penyediaan tenaga listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit listrik batubara hingga 2026 yang merupakan penyumbang emisi CO2 disektor energi. Setelah diratifikasinya Paris Agreement menjadi Dokumen Kontribusi Nasional (NDC), Indonesia mempunyai target penurunan emisi sebesar 29% pada tahun 2030. Salah satu usaha yang dilakukan yaitu dengan mempertimbangkan penggunaan teknologi Carbon Capture Storage. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kebijakan penurunan emisi di sektor pembangkit listrik serta mengetahui potensi pemanfaatan mikroalga untuk carbon capture di PLTU Cilacap. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan menggunakan metode campuran Sequential Exploratory Design. Penelitian kualitatif dilakukan dengan wawancara mendalam dengan narasumber mengenai kebijakan dan aksi penurunan emisi CO2 di sektor pembangkit listrik serta analisa biaya manfaat dari penggunaan teknologi CO2 capture dengan mikroalga. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan menghitung penyerapan CO2 dengan mikroalga dan biofuel yang dihasilkan dari biomassa mikroalga. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk mencapai target NDC dengan menggunakan teknologi Carbon Capture diperlukan adanya roadmap penelitian, skema pendanaan dan kerjasama antara instansi terkait. Potensi mikroalga sebagai carbon capture di PLTU Cilacap dengan kebutuhan lahan 1 Ha dapat mereduksi emisi CO2 sebesar 300ton/tahun dengan menggunakan fotobioreaktor. Hasil perhitungan analisa biaya manfaat menunjukkan bahwa menggunakan fotobioreaktor lebih layak dilaksanakan dibandingkan dengan open pond, hal tersebut terlihat dari nilai keriteria kelayakan proyek yaitu NPV Rp149,118,061.77, IRR 14.46%, Payback period 12.86 tahun dan BC Ratio 1.2. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa aspek pendapatan yang sangat mempengaruhi terhadap IRR Dengan adanya mikroalga plant di PLTU Cilacap menggunakan fotobioreaktor akan menurunkan emisi CO2 300ton/tahun dimana hal tersebut akan membantu pencapaian target penurunan emisi CO2 dari sektor pembangkit listrik di tahun 2030.

Kata Kunci : Mikroalga, emisi CO2, Carbon capture, PLTU Cilacap

Abstract *- Electricity power supply projects in Indonesia still dominated by coal-fired power plants until 2026 which is a contributor of CO2 emissions in energy sector. After ratification of Paris Agreement into a Document of National Contribution (NDC) Indonesia has targets reduce emissions by 29% in 2030. One of the alternative is*

[1] Rr. Citra Permata K. A, S.Kel, Mahasiswa Program Studi Kemananan Energi, Universitas Pertahanan
[2] Kol. Laut (KH) Dr. Yanif Dwi Kuntjoro, M.Si Dosen Universitas Pertahanan Program Studi Keamanan Energi
[3] Nugroho Adi Sasongko,M.Sc, Ph.D Dosen Universitas Pertahanan Program Studi Keamanan Energi

by considering the use of the technology of Carbon Capture Storage. This research was conducted to find out the policy of redusing emissions in electricity generation sector as well as knowing the potenty of microalga as carbon capture at Cilacap Coal Fired Power Plant. This research is qualitative research using mixed method Exploratory Sequential Design. Qualitative research in depth interviews conducted with the expert about the action to reducing CO2 emissions in the electricity sector as well as the cost benefit analysis of CO2 capture technologies with use of microalga. Quantitative research is conducted by calculating the absorbption of CO2 by microalga and biofuels that produced from biomass. The result of this research show that to achive the target of the NDC by using acarbon capture technology required roadmap, funding schemes and cooperation between the agencies. The potency of microalga as carbon capture in Cilacap coal fired power plant in the 1 Ha area can reduce CO2 emissions amounted to 300ton/year by using photobioreactor. The result of cost benefit analysis shows that using photobioreactor more feasible is exercised compared with open pond, with result NPV Rp149,118, 061.77, IRR 14.46%, Payback period 12.86 years and BC Ratio of 1.2. The results of the sensitivity analysis shows that the revenue aspect is strongly influenced by the presence of IRR. Microalga plant in Cilacap coal fired power plant using photobioreactor will reduce CO2 emissions about 300ton/year which will help the achievement of NDC target to reduce CO2 emissions from the power sector in the 2030.

***Keywords** : Microalga, CO2 emissions, Carbon capture, Cilacap coal fired power plant*

Pendahuluan

Proyek pemerintah untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dengan program 35,000 MW masih didominasi dengan penggunaan batubara. Hingga November 2016, total kapasitas terpasang pembangkit di Indonesia yaitu 51,915 MW yang terdiri dari pembangkit PLN 39,856 MW, swasta 8,867 MW dan sewa 3,192 MW. Pembangkit tersebut masih didominasi PLTU Batubara 55,6%. Pembangkit listrik tenaga uap masih akan mendominasi energi listrik di Indonesia hingga 2026 yaitu sebesar 50.4% (ESDM, 2017). Masalah PLTU batubara yaitu menghasilkan emisi GRK khususnya CO2 sehingga diperlukan upaya penurunan emisinya. Pada tahun 2015 pembangkit listrik menghasilkan emisi GRK sebesar 175.62 juta ton CO2 dimana 70% berasal dari pembakaran batubara. Dengan adanya komitmen Indonesia pada pertemuan COP 21 untuk menurunkan emisi GRK sebesar 29% pada tahun 2030 dengan usaha sendiri maka pemerintah mengambil kebijakan penggunaan Clean Coal Technology (CCT) seperti penggunaan boiler super critical dan ultra supercritical, memprioritaskan pembangkit EBT serta mempertimbangkan teknologi Carbon Capture Storage (CCS) sesuai yang tertera pada RUPTL PLN 2017-2026. Dengan adanya kebijakan diatas maka diperlukan

kajian mengenai teknologi carbon capture salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan mikroalga, selain untuk mitigasi CO_2 biomassa mikroalga juga dapat digunakan sebagai sumber bahan baku biofuel. Hal tersebut juga menjadi dasar mewujudkan ketahanan energi yang berasas 4A 1S dengan memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan. Kemampuan mikroalga dalam melakukan fotosintesis dapat digunakan untuk memanfaatkan emisi CO_2 yang berasal dari gas buang PLTU batubara dimana emisi tersebut mengandung gas CO_2 sebesar 10-20% sedangkan kandungan CO_2 di alam hanya sebesar 0.036%. Kemurnian dalam kultur mikroalga tidak diperlukan sehingga pemanfaatan emisi CO_2 dari PLTU Batubara dapat digunakan sebagai nutrien dalam kultur mikroalga sehingga lebih optimal dalam meningkatkan biomassa mikroalga.

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, menurut peneliti diperlukan adanya kajian tentang potensi pemanfaatan potensi mikroalga dalam mitigasi CO_2 di PLTU Cilacap serta potensi biomassa yang dihasilkan sebagai bahan baku biofuel dengan rumusan masalah yang tertuang pada pertanyaan penelitian, yaitu bagaimana upaya penurunan emisi CO_2 di sektor ketenagalistrikan, bagaimana potensi mikroalga sebagai carbon capture di PLTU Cilacap, bagaimana analisa biaya manfaat dari penggunaan teknologi CO_2 capture dengan menggunakan mikroalga.

Metode Penelitian

Tinjauan Pustaka

Ketahanan Energi

Ketahanan energi dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi terjaminnya ketersediaan energi, akses masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan terhadap lingkungan hidup (KEN, 2014). Dalam menggambarkan ketahanan energi Indonesia ditinjau dari aspek 4A+1S yang meliputi *Availability, Accessibility, Acceptability,* dan *Affordability* serta *Sustainability*. *Availability* merupakan ketersediaan sumber energi yang berasal dari dalam maupun luar negeri. *Accessilibilty* merupakan kemampuan masyarakat untuk mengakses sumber energi, infrastruktur jaringan energi, termasuk tantangan geografik dan geopolitik. *Affordability* meliputi biaya investasi di bidang energi, mulai dari biaya eksplorasi, eksploitasi, produksi dan distribusi hingga biaya yang dikenakan

kepada konsumen. *Acceptability* merupakan penerimaan masyarakat terhadap sumber energi. *Sustainability* merupakan keberlanjutan sumber energi. Pengelolaan sumber energi didasarkan pada amanat konstitusi yaitu digunakan sebesar-besarnya untuk kepentingan rakyat dan berwawasan lingkungan. Salah satu aspek yang diperhatikan dalam pengertian berwawasan lingkungan yaitu terkait emisi GRK yang ditimbulkan dari suatu kegiatan penyediaan energi.

Dengan dikeluarkannya UU No 16 Tahun 2016 tentang pengesahan Paris Agreement serta PP Nomor 79 tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional Pasal 6 huruf i menyatakan bahwa Kemandirian Energi dan Ketahanan Energi nasional dicapai dengan mewujudkan terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup sehingga diperlukan upaya mitigasi emisi CO_2. Mitigasi emisi CO_2 merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup dengan meminimalisir emisi CO_2 terutama yang dikeluarkan dari aktifitas ekplorasi dan eksploitasi sumber energi seperti emisi yang ditimbulkan dari PLTU.

Kebijakan Energi dan Lingkungan

Kekhawatiran masyarakat dunia terhadap emisi GRK telah mendorong lahirnya Protokol Kyoto pada bulan Desember 1998. Kemudian disusul oleh adanya pertemuan G20 pada September 2009 dimana Presiden SBY menyampaikan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi GRK 26% di tahun 2020. Dalam usaha penurunan tersebut dikeluarkan PP No 61 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2001. Pada pertemuan Conference of the parties (COP) ke 21 yang diselenggarakan di Paris pada tanggal 30 November hingga 12 Desember 2015, Presiden Joko Widodo menyampaikan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% di tahun 2030 dengan usaha sendiri atau sebesar 41% dengan bantuan Internasional. Dari 29% tersebut, sektor energi mendapat porsi penurunan emisi GRK sebesar 314 juta ton CO_2.

Teknologi Carbon Capture Storage

Dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim dan menurunkan emisi gas rumah kaca terdapat dua cara yang dapat dilakukan yaitu adaptasi dan mitigasi. Adaptapsi merupakan kemampuan manusia atau organisme hidup yang lain untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan baik

bersifat makro maupun mikro. Sedangkan mitigasi merupakan usaha untuk menurunkan emisi atau meningkatkan penyerapan GRK dari berbagai sumber emisi. Salah satu bentuk mitigasi emisi GRK dapat dilakukan dengan teknologi CCS. Teknologi penangkap CO_2 terbagi menjadi tiga metode utama yaitu *post combustion* (setelah pembakaran), *pre combustion* (sebelum pembakaran) dan *oxy fuel*. *Post combustion* memisahkan CO_2 dari asap pembakaran, Post combustion dapat dikategorikan sebagai absorsi kimiawi, adsorpsi kimia fisika cryogenik dan bioteknologi dengan menggunakan tanaman darat maupun alga. *Pre combustion* menggunakan proses gasifikasi diikuti oleh proses pemisahan CO_2 untuk menghasilkan asap hidrogen. *Post combustion* secara biologi menarik perhatian para ilmuwan di dunia dimana dalam penggunaannya menghasilkan keuntungan yaitu menghasilkan biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel.

Biological post combustion ini menggunakan tanaman darat ataupun mikroalga. Mikroalga adalah organisme tumbuhan paling primitif berukuran seluler dengan diameter tubuhnya 3-30 µm yang umumnya disebut juga dengan fitoplankton. Habitat hidup mikroalga adalah di perairan baik tawar, payau maupun laut serta di tempat yang lembab. Mikroalga merupakan produsen primer perairan yang mampu berfotosintesis seperti tumbuhan tingkat tinggi. Mikroalga lebih cepat tumbuh dibandingkan tanaman darat. Mikroalga menggunakan mekanisme fotosintesis untuk menangkap CO_2. Sel mikroalga mengandung 50% karbon dimana 1.8 kg CO_2 dapat ditangkap untuk menghasilkan 0.9 kg biomassa mikroalga. Mikroalga mempunyai tingkat efisiensi untuk memfiksasi CO_2 10-50 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan darat (Chisty, 2007). Kemurnian gas CO_2 tidak diperlukan dalam kultur mikroalga. Gas buang yang berasal dari PLTU mengandung 10-15% CO_2 dapat digunakan sebagai nutrisi pada kultur mikroalga. Produk pembakaran seperti NOx dan SOx dapat digunakan sebagai nutrisi untuk mikroalga. Disamping itu kultur mikroalga juga menghasilkan produk bernilai komersial tinggi sehingga dapat mengimbangi biaya modal dan operasional dari proses penyerapan karbon.

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan metode kombinasi yang

merupakan yang menghubungkan antara metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kombinasi yang digunakan yaitu Sequential Exploratory Design dengan tahapan metode kualitatif dikerjakan pada tahap awal kemudian diikuti dengan metode kuantitatif. Penelitian kualitatif dilakukan dengan wawancara mendalam dengan narasumber dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Direktorat Jenderal EBTKE, Badan Kebijakan Fiskal, PLTU Cilacap, Perencanaan Korporat PT PLN, P3TEBTKE, PLTU Suralaya, TIEM BPPT dan Green Peace Indonesia mengenai upaya penurunan emisi CO_2 di sektor pembangkit listrik serta analisis biaya manfaat dari penggunaan teknologi CO_2 capture dengan mikroalga.

a. NPV (*Nett Present Value*, nilai bersih sekarang)

   NPV dapat dihitung dengan rumus (Purba, 1997) :

   NPV= B-(C=I/n)

   n= umur teknis ekonomis proyek tersebut

   Jika NPV > 0 maka proyek favourable

   Jika NPV =0 maka netral

   Jika NPV < 0 maka proyek unfavourable

b. IRR *(Internal Rate of Return*, tingkat pengembalian)

IRR dapat didefinisikan sebagai tingkat suku bunga yang menyebabkan nilai ekuivalen biaya atau investasi sama dengan nilai ekuivalen penerimaan atau keuntungan. Rumus IRR adalah sebagai berikut:

$$I = i_1 + \Delta i \left(\frac{AKi1}{AKi2 - AKi1}\right)$$

Dimana i1= bunga modal terendah

Δi = selisih bunga modal terendah dan tertinggi

AKi1= arus kas pada bunga terendah

AKi2= arus kas pada bunga tertinggi

c. *Payback Period*

Merupakan lamanya waktu yang diperlukan benefit dan depresiasi untuk mengembalikan investasi. Dengan rumus sebagai berikut (Purba, 1997):

$$Pb = \frac{I}{(B - C) + D}$$

d. *B/C Ratio*

Merupakan perbandingan antara benefit dengan jumlah cost dan investasi.

$$B/C\ Ratio = \frac{Total\ B}{Total\ C + I}$$

Penelitian kuantitatif dilakukan dengan melakukan perhitungan berdasarkan rumus terkait emisi CO_2 PLTU Cilacap,

penyerapan CO_2 mikroalga, biofuel yang dihasilkan dari biomassa mikroalga.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini:

Penyerapan CO_2 dengan mikroalga berdasarkan asumsi (Algenol, 2015)

1.8 ton emisi CO_2 = 0.9 ton bioassa mikroalga……(1)

Produktivitas kultivasi mikroalga menggunakan fotobioreaktor berdasarkan asumsi produktivitas 150ton/hektar/tahun (IEA, 2017)……(2)

Produktivitas kultivasi mikroalga menggunakan open pond berdasarkan asumsi produktivitas 72/ha/tahun (Valentina, 2016)……(3)

Perhitungan Biodiesel yang dihasilkan menggunakan asumsi 1 liter biodiesel mikroalga dibutuhkan 3.7 kg berat kering (Riyadi, 2013)……(4)

Hasil dari penelitian kuantitatif dan kualitatif digabungkan untuk menjawab permasalahan penelitian. Subjek penelitian merupakan institusi yang memberikan informasi maupun data yang relevan dan dibutuhkan dalam penelitian. objek penelitian adalah upaya penurunan emisi CO_2 di sektor ketenagalistrikan, potensi penyerapan CO_2 dengan mikroalga maupun analisis biaya manfaat penggunaan mikroalga sebagai carbon capture. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan wawancara, observasi lapangan, pengujian skala laboratorium untuk identifikasi spesies mikroalga. Pengujian keabsahan data dilakukan dengan triangulasi yaitu pengecekan data dari berbagai sumber dengan berbagai cara dan berbagai waktu. Triangulasi juga dapat diartikan sebagai teknik pengumpulan data dari berbagai sumber data dengan cara yang sama sehingga didapatkan kebenaran informasi.

Pembahasan

Gambaran Umum PLTU Cilacap

PT Sumber Segara Primadaya merupakan perusahaan yang dibentuk oleh PT Sumber energi Sakti Prima yang bergerak dibidang Energi pertambangan dengan PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB) yang memiliki kekuatan pada Industri Energi dengan tujuan bersama mendirikan untuk menjadi Independent Power Producer terbaik di Indonesia. Pembangkit listrik ini memiliki memiliki kapasitas sebesar 2 x 300 MW untuk unit 1 dan 2 serta unit 3 dengan kapasitas 660 MW dengan bahan bakar berupa batubara yang masuk ke dalam interkoneksi Jawa-Bali yang penyalurannya dilakukan oleh pusat penyaluran beban gandul, Cinere, Jawa Barat.

Gambar 1. PLTU Cilacap Unit 1 dan 2 2x300 MW
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2017

Gambar 2. PLTU Cilacap Unit 3 660 MW
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2017

Teknologi pembangkit yang digunakan di PLTU Cilacap yaitu Boiler Sub critical untuk unit 1 dan 2 dan boiler Supercritical untuk unit 3. Unit 3 merupakan proyek ekspansi tahap 1 yang sudah mulai beroperasi pada tahun 2017. Menurut Direktur Teknik dan Operasional PLTU Cilacap, Bapak Irvan Rahmat saat ini sudah dimulai pembangunan PLTU Cilacap Unit 4 yang merupakan ekspansi tahap 2 dengan kapasitas 1000 MW yang akan dibangun dalam lahan seluas 170 Ha di area PLTU Cilacap. Dengan adanya ekspansi tahap 2 ini, kapasitas yang dikelola oleh PLTU Cilacap menjadi 2.260 MW sebagai bagian dari program 35 ribu megawatt yang dicanangkan oleh pemerintah pusat. Hingga saat ini upaya yang telah dilakukan oleh PLTU Cilacap dalam menurunkan emisi CO_2 antara lain

dengan menerapkan ISO 50001, melakukan program konservasi dan efisiensi energi seperti pemakaian lampu LED, penanaman pohon di lingkungan sekitar PLTU dan melaksanakan program inovasi pemanfaatan air bahang sebagai penggerak turbin yang menghasilkan energi listrik.

Teknologi Carbon Capture di Indonesia

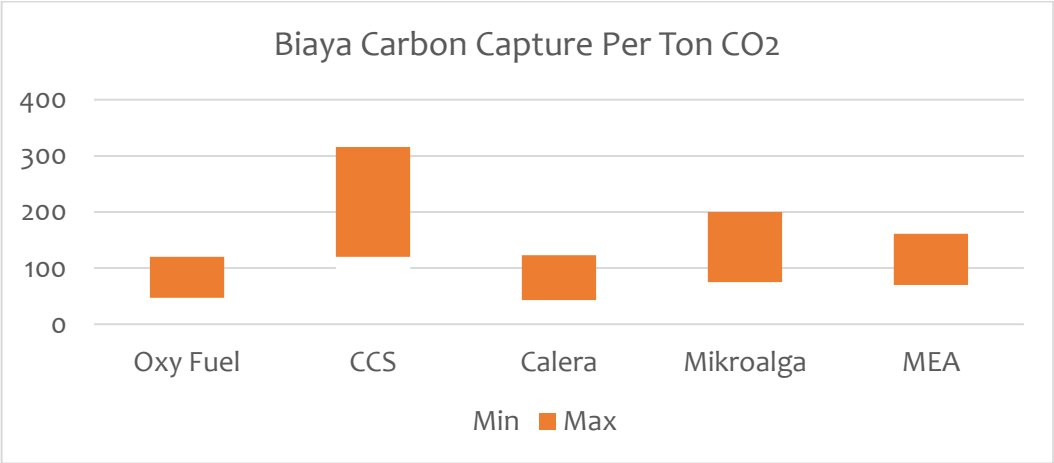
Pada prinsipnya terdapat 3 teknik penangkapan CO_2 yaitu teknik penangkapan paska pembakaran, pra pembakaran dan pembakaran dengan oxygen murni. Teknik penangkapan paska pembakaran sejauh ini paling banyak digunakan dan dianggap paling baik untuk menangkap CO_2. Cara konvensional yang biasa digunakan dengan larutan MEA (mono ethanol amine) sebagai larutan penyerap CO_2. Teknik penangkapan dengan larutan MEA membutuhkan sirkulasi amine yang besar karena besarnya volume gas hasil pembakaran. Teknik penangkapan CO_2 dengan teknik pra pembakaran dikenal dengan istilah IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*). Teknik pembakaran dengan oksigen murni (oxy fuel) dikembangkan untuk menghindari pengenceran oleh nitrogen dalam gas hasil pembakaran. Oksigen murni diperoleh dengan proses pemisahan oksigen dari udara dalam sebuah Air Separation Unit (ASU).

Kendala dalam pengembangan *oxy fuel* yaitu pembakaran dengan oksigen murni menyebabkan temperatur pembakaran menjadi tinggi sehingga ketahanan terhadap material perlu dipertimbangkan. CCS membutuhkan tempat penyimpanan gas CO_2. Ada beberapa jenis penyimpanan gas CO_2 yang memungkinkan antara lain injeksi gas CO_2 pada lapisan saline aquifier di daerah Natuna, lapisan batubara yang sudah tidak ekonomis jika ditambang, injeksi dapat dilakukan pada tambang migas yang sudah tidak produktif ataupun dengan mikroalga yang akan menyerap CO_2 menjadi biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku bernilai tingi.

Berikut pada Tabel 1 merupakan biaya yang dikeluarkan untuk penangkapan CO_2/ton berdasarkan studi literatur.

Tabel 1. Biaya Penangkapan/Ton CO_2

Jenis Teknologi	Kisaran Biaya/ Ton CO_2 yang ditangkap (USD)		Referensi
	Biaya terendah	Biaya tertinggi	
Oxy Fuel	47	73	Kostald and Young, 2010
CCS	120	196	Kostald and Young, 2010
Calera	43	80	Kostald and Young, 2010
Mikroalga	75	125	Wilson, 2014
MEA	70	91	Kostald and Young, 2010



Gambar 3. Grafik Perbandingan biaya penangkapan/Ton CO_2

Perkembangan CCS di Indonesia diantaranya telah dilakukan penelitian oleh Balitbang ESDM Lemigas dengan beberapa pihak Jepang pada tahun 2003-2005 yang menguji potesi penyimpaan gas CO_2 di Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan. Kajian serupa juga dilakukan oleh ITB dengan Jepang didaerah Gundih untuk penyimpanan gas CO_2. Kajian teknologi CCS oxy fuel telah dilakukan BPPT dengan Universitas Indonesia. Selain itu carbon capture dengan mikroalga dilakukan oleh P3TEBTKE dan PLTU Suralaya.

Disisi lain, PLN sudah berencana untuk menggunakan teknologi carbon capture sebagai aksi mitigasi emisi untuk pembangkit listrik, hal tersebut sudah tercantum dalam RUPTL PLN 2017-2026. Hingga saat ini PLN masih mengkaji teknologi carbon capture yang sesuai untuk digunakan di pembangkit listrik. Namun di Indonesia belum ada roadmap penelitian carbon capture, sehingga riset yang berjalan merupakan inisiatif dari

masing-masing instansi. Padahal teknologi Carbon Capture sudah menjadi alternatif pilihan untuk mitigasi emisi CO_2 yang tercantum dalam pembagian tugas untuk mencapai target NDC Indonesia dan juga tercantum dalam RUPTL PLN, maka untuk mencapai hal tersebut perlu dibuat roadmap penelitian carbon capture sehingga tidak terjadi tumpang tindih maupun riset yang tidak terintegerasi dan tidak adanya kerjasama antara intansi terkait yang menyebabkan terhambatnya penerapan teknologi carbon capture di Indonesia.

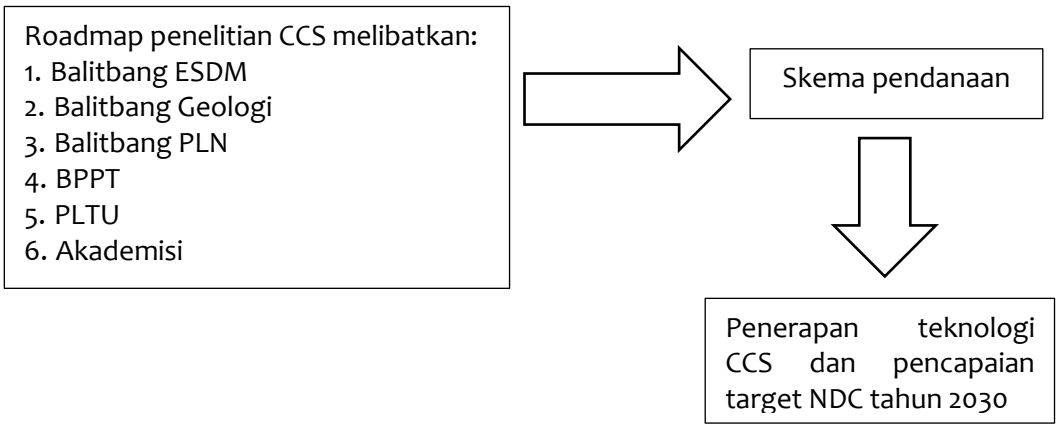
Kebijakan dan Upaya Penurunan Emisi di Sektor Ketenagalistrikan

Dalam mega proyek penyediaan listrik 10 tahun mendatang period 2017-2026, PLTU batubara akan mendominasi jenis pembangkit yang akan dibangun yaitu mencapai 31.9 GW atau 41%. Penyediaan tenaga listrik yang didominasi dari PLTU batubara tentu saja akan berpengaruh kepada emisi yang ditimbulkan. Kelemahan dari pemanfaatan batubara sebagai sumber energi antara lain batubara identik dengan bahan bakar yang kotor dan tidak ramah lingkungan karena komposisinya yang terdiri dari C, H, O, N, S dan abu. Selain itu kandungan C per mol batubara lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya sehingga pengeluaran CO_2 dari batubara jauh lebih banyak. Semakin meningkatnya emisi CO_2 yang berasal dari pembakaran energi fosil terutama dari pembangkit listrik akan semakin meningkatkan konsentrasi emisi CO_2 diatmosfer yang menyebabkan terjadinya efek gas rumah kaca yang menimbulkan pemanasan global dan berakibat pada perubahan iklim sehingga dibutuhkan upaya mitigasi.

Nationally Determined Contribution (NDC) atau Dokumen Komitmen Indonesia merupakan bentuk upaya Indonesia yang merupakan ratifikasi dari *Paris Agreement* dalam kontribusi gerakan perubahan iklim yang diserahkan kepada *The United Nations Framework Conventions on Climate Change* (UNFCCC). Komitmen Nasional tersebut sesuai dengan Amanat UU No 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement* menurunkan emisi GRK sesuai NDC dengan target penurunan emisi 29% pada tahun 2030 dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan negara lain kemudian diturunkan menjadi komitmen sektor energi yaitu menurunkan emisi GRK sebesar 314-398 Juta Ton CO_2 pada tahun 2030. Usaha yang sudah dilakukan hingga tahun 2017 berhasil menurunkan 3.4 juta

ton CO_2 yang dilakukan dengan penerapan *clen coal technology* pada PLTU batubara seperti *Ultra super critical* dan *super critical,* penerapan cogeneration pada PLTGU, pengalihan bahan bakar (*fuel switching*) campuran biofuel pada PLTD, dan pembangunan PLT EBT. PLTU batubara dengan teknologi superkritikal memiliki peluang untuk meningkatkan efisiensi, waktu start-up yang lebih cepat, mengurangi emisi dan penghematan biaya bahan bakar.

Dalam melaksanakan target NDC, Ditjen EBTKE menjadi penanggung jawab di sektor energi, sekaligus menjadi koordinator diatas unit kerja yang lain. Kemudian untuk mempercepat pencapaian target NDC jika dilihat dari opsi pemanfaatan teknologi CCS maka dapat tergambar pada Gambar 4.



Gambar 4. Opsi Pemanfaatan Teknologi CCS

Potensi Mikroalga Sebagai Carbon Capture di PLTU Cilacap

Dalam penelitian ini dilakukan uji identifikasi mikroalga untuk mengetahui spesies mikroalga yang ada di PLTU Cilacap karena spesies lokal lebih cocok untuk digunakan sebagai carbon capture. Dalam penelitian ini dihitung potensi penyerapan emisi CO_2 dengan referensi menurut IEA, 2017 dan Valentine, 2016. Dalam penelitian ini diasumsikan mikroalga digunakan untuk carbon capture di unit 1 dan 2 karena ketersediaan lahan ada di dekat unit tersebut, emisi yang dihasilkan berasal dari satu cerobong yang sama. Selain itu unit 3 baru beroperasi pada tahun 2017.

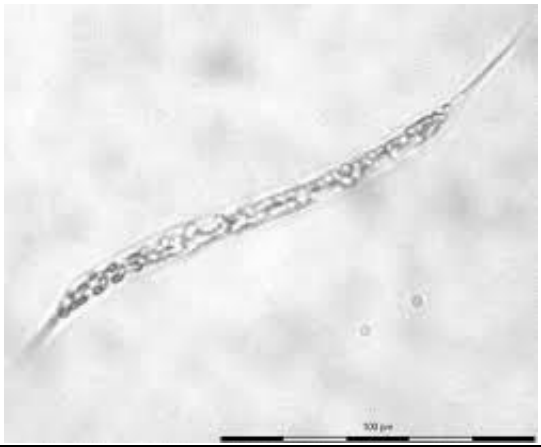
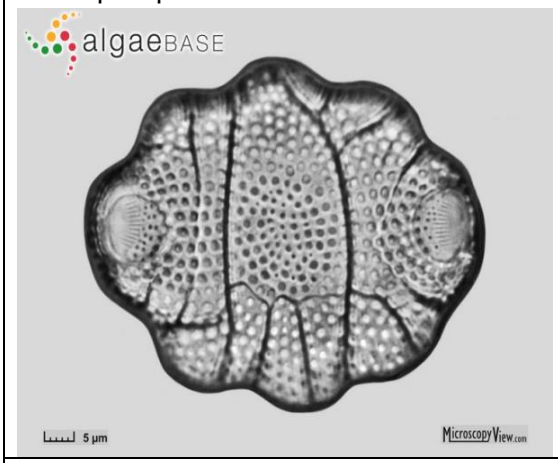
Berikut merupakan lokasi titik sampling dari mikroalga yang beasal dari beberapa titik air di PLTU Cilacap

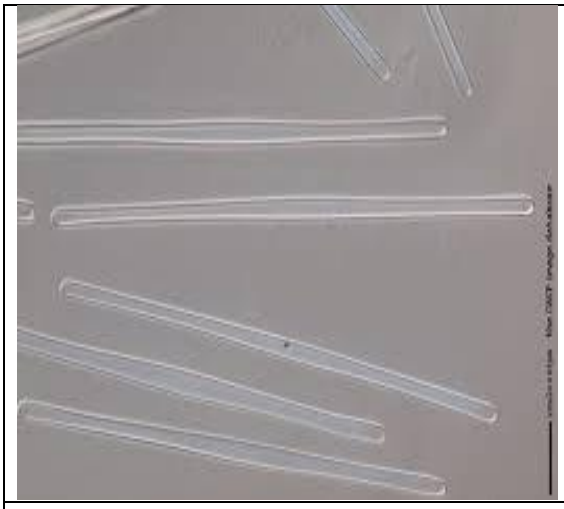
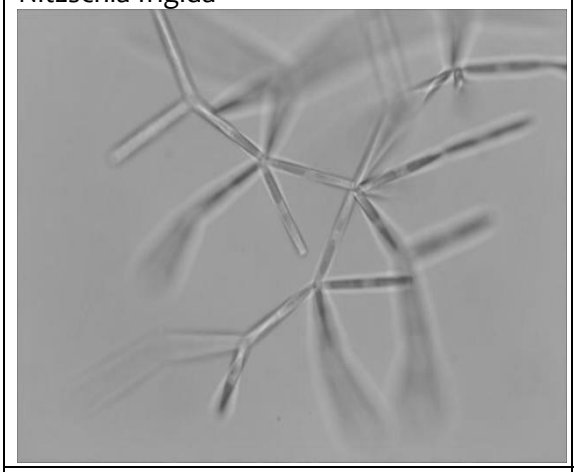
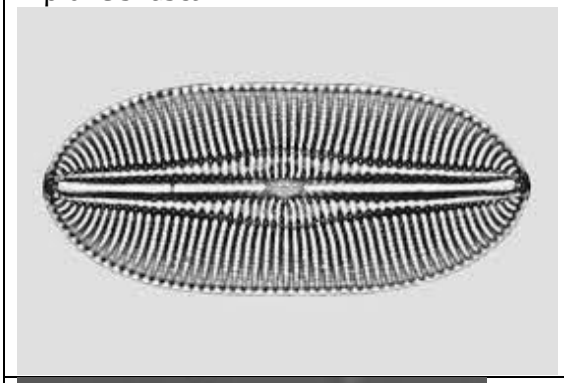
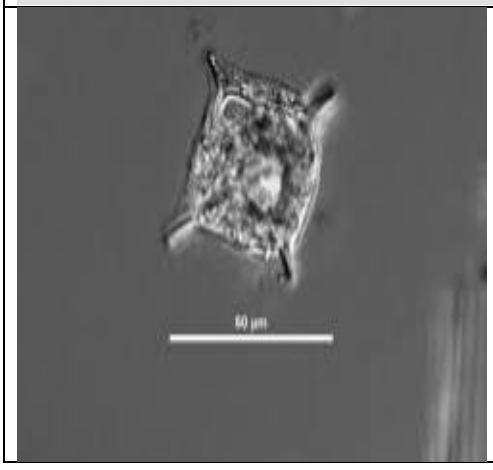
Tabel 2. Lokasi Titik Sampling Mikroalga di PLTU Cilacap

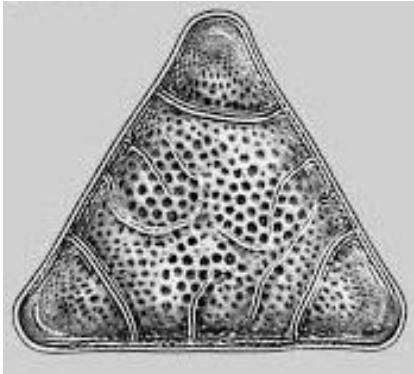
No	Titik sampling	Koordinat Lokasi
1	Water intake unit 1 dan 2	07°41'09.99"LS dan 109°05'13.89" BT
2	Dermaga Barat unit 1 dan 2	07°41'20.07"LS dan 109°05'18.98"BT
3	Dermaga Timur unit 1 dan 2	07°41'18.42"LS dan 109°05"28.90"BT
4	Water intake unit 3	07°41'19.95"LS dan 109°05"29.20"BT
5	Air Bahang unit 1 dan 2	07°41'11.5"LS dan 109°05'39.2"BT
6	Air Bahang unit 3	07°41'08.40"LS dan 109°05'45.87"BT

Berdasarkan hasil identifikasi sesuai titik sampling diatas spesies mikroalga yang terdapat di PLTU Cilacap dijelaskan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Identifikasi Spesies Mikroalga di PLTU Cilacap

Nama Spesies	Klasifikasi Ilmiah
Rhizosolenia alata 	Kingdom : Chromista Divisi : Eukaryota Phylum : Bacillariophyta Kelas : Coscinodiscophyceae Ordo : Rhizosoleniales Family : Rhizosoleniaceae Genus : Rhizosolenia Spesies : Rhizosolenia alata http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=39583
Biddulphia pilchella 	Kingdom :Chromista Divisi : Eukaryota Phylum : Bacillariophyta Kelas : Mediophyceae Ordo : Biddulphiales Family : Biddulphiaceae Genus : Biddulphia Spesies : Biddulphia pilchella http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=37303
Synedra fulgena	Kingdom :Chromista Divisi : Eukaryota Phylum :Bacillariophyta Kelas : Bacillariophyceae Ordo : Fragilariales Family : Fragilariaceae Genus : Synedra

	Spesies : Synedra fulgena http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=31527
Nitzschia frigida 	Kingdom : Chromista Divisi : Eukaryota Phylum Bacillariophyta Class Bacillariophyceae Ordo Bacillariales Family Bacillariaceae Genus Nitzschia Spesies Nitzschia frigida http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=34034
Diploneis fusca 	Kingdom : Chromista Divisi : Eukaryota Phylum : Bacillariophyta Class : Bacillariophyceae Ordo : Naviculales Family : Diploneidaceae Genus : Diploneis Spesies : Diploneis fusca http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=31289
	Kingdom :Chromista Divisi : Eukaryota Phylum : Ochrophyta Class : Dictyochophyceae Ordo : Dictyochales Family :Dictyochaceae Genus : Dictyocha http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=52816

Triceratium alternans 	Divisi : Eukaryota Kingdom : Chromista Phylum : Bacillariophyta Class : Coscinodiscophyceae Ordo : Triceratiales Family : Triceratiaceae Genus : Triceratium Spesies : Triceratium alternans http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=39883

Spesies diatas merupakan mikroalga yang terdapat di perairan sekitar PLTU Cilacap. Spesies tersebut terbagi atas tiga kelas yang berbeda yaitu Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, dan Bacillariophyce namun termasuk dalam kelompok mikroalga yang sama yaitu diatom. Diatom merupakan mikroalga uniseluler yang distribusinya sangat luas di perairan sehingga merupakan penyusun utama mikroalga di ekosistem air tawar maupun laut. Secara umum kelompok mikroalga diatom memiliki kandungan lipid 15% dari berat kering (Rampen, 2010) sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, dimana syarat kandungan lipid mikroalga yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel yaitu 8-50% (Darsi, 2012). Salah satu cara yang dianggap lebih efektif untuk menghasilkan pertumbuhan yang cepat dan produktivitas biomassa yang tinggi yaitu dengan kultur campuran atau yang biasa disebut dengan istilah konsorsium. Berikut merupakan rincian hasil perhitungan penyerapan seluruh emisi CO_2.

Tabel 4. Rincian Hasil Perhitungan Penyerapan Seluruh Emisi CO_2

	Fotobioreaktor	Open pond
CO_2 yang diserap	2.277.148,81 ton/tahun	2.277.148,81 ton/tahun
Biomassa mikroalga	1,138,574.40 ton/tahun	1,138,574.40 ton/tahun
Produktivitas mikroalga	150/ha/tahun	72/ha/tahun
Kebutuhan lahan	7,590 Ha	15,813 Ha

Namun dengan adanya keterbatasan lahan di PLTU Cilacap maka dalam penelitian ini digambarkan pembangunan mikroalga plant di dekat unit 1 dan 2 dengan luas lahan 1 Ha. Untuk menggambarkan lahan yang dapat dibangun mikroalga plant terdapat pada Gambar 5.

Teknologi kultivasi mikroalga mempengaruhi penyerapan CO_2 hal ini disebabkan karena efektivitas penyerapan CO_2 sehingga juga mempengaruhi produktivitas mikroalga yang dihasilkan. Dengan menggunakan fotobioreaktor penyerapan emisi CO_2 lebih efektif dibandingkan dengan open pond sehingga biomassa yang dihasilkan juga semakin banyak serta biodiesel yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan *open pond*.

Gambar 5. Gambaran lahan yang dapat dibangun mikroalga plant di PLTU Cilacap
Sumber: Google Earth diolah oleh Peneliti, 2018

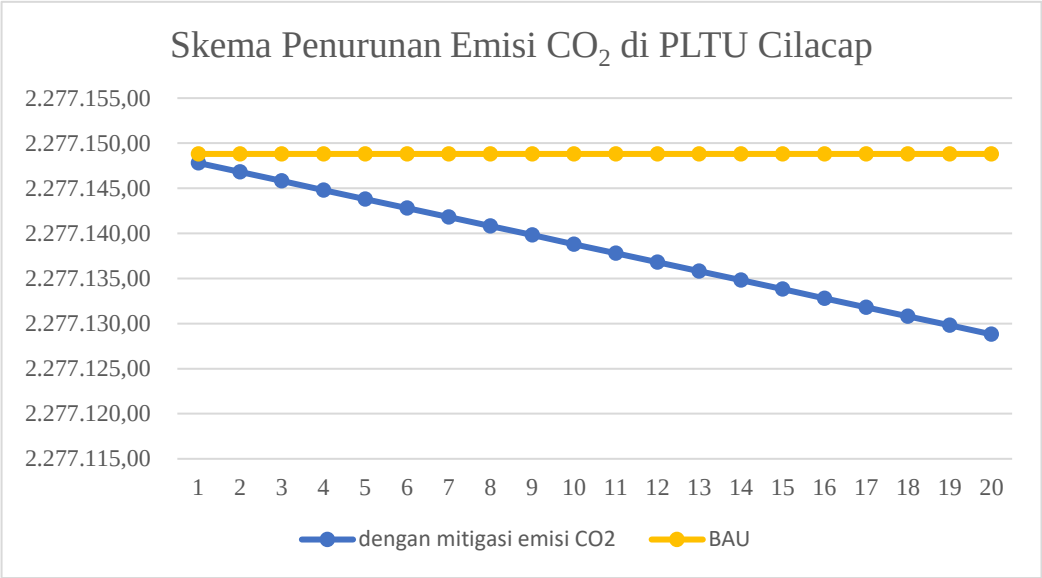
Tabel 5. Rincian Hasil Perhitungan Penyerapan Emisi CO_2 dengan luas lahan 1 Ha

	Fotobioreaktor	Open pond
CO_2 yang diserap	300 ton/tahun	144 ton/tahun
Biomassa mikroalga	150 ton/tahun	72 ton/tahun
Produktivitas mikroalga	150/ha/tahun	72/ha/tahun
Kebutuhan lahan	1 ha	1 ha
Biofuel yang dihasilkan/tahun	40,454.54 L	19,459.46 L

Berdasarkan hasil perhitungan potensi penyerapan emisi CO_2 dengan menggunakan teknologi fotobioreaktor dapat menyerap CO_2 lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan open pond, hal tersebut dihitung dengan asumsi kebutuhan lahan yang sama yaitu 1 Ha. Penyerapan dengan menggunakan fotobioreaktor dapat menyerap CO_2 sebesar 300 ton/tahun sedangkan dengan open pond hanya dapat menyerap CO_2 sebesar 144 ton/tahun. Usaha penurunan emisi CO_2 ini sesuai dengan target pemerintah dalam dokumen NDC khususnya pada sektor pembangkit listrik yaitu sebesar 31.8 juta ton CO_2 pada tahun 2030. Jika penurunan ini dapat dilakukan secara kontinyu di PLTU Cilacap tentu saja akan membantu pencapaian target tersebut.

Tabel 6. Gambaran Penurunan Emisi CO_2 Unit 1 dan 2 PLTU Cilacap

Tahun	Akumulasi Penurunan Emisi CO_2(Ton)	Dengan Mitigasi Emisi CO_2 (Ton)	BAU (Ton)
2018	300	2,276,848.81	2,277,148.81
2019	600	2,276,548.81	2,277,148.81
2020	900	2,276,248.81	2,277,148.81
2021	1200	2,275,948.81	2,277,148.81
2022	1500	2,275,648.81	2,277,148.81
2023	1800	2,275,348.81	2,277,148.81
2024	2100	2,275,048.81	2,277,148.81
2025	2400	2,274,748.81	2,277,148.81
2026	2700	2,274,448.81	2,277,148.81
2027	3000	2,274,148.81	2,277,148.81
2028	3300	2,273,848.81	2,277,148.81
2029	3600	2,273,548.81	2,277,148.81
2030	3900	2,273,248.81	2,277,148.81
2031	4200	2,272,948.81	2,277,148.81
2032	4500	2,272,648.81	2,277,148.81
2033	4800	2,272,348.81	2,277,148.81
2034	5100	2,272,048.81	2,277,148.81
2035	5400	2,271,748.81	2,277,148.81
2036	5700	2,271,448.81	2,277,148.81
2037	6000	2,271,148.81	2,277,148.81



Gambar 6. Grafik Gambaran Penurunan Emisi CO_2 Unit 1 dan 2 PLTU Cilacap

Dengan kondisi diatas ketika berada di tahun 2030 maka PLTU Cilacap berkontribusi untuk menurunkan emisi CO_2 hingga 3,900 ton. Hal tersebut dapat dilakukan sebagai bentuk kepedulian PLTU Cilacap terhadap aspek keberlanjutan lingkungan yang sesuai dengan visi dan misi PLTU Cilacap untuk melakukan pembangunan berwawasan lingkungan.

Kemudian biomassa yang dihasilkan dengan teknologi fotobioreaktor yaitu sebesar 150 ton/tahun sedangkan dengan open pond hanya dapat menghasilkan biomassa 72 ton/tahun. Dari biomassa yang dihasilkan dapat dihitung biofuel yang dihasilkan, dengan teknologi fotobioreaktor dapat menghasilkan 40,454.54 liter biodiesel mikroalga sedangkan dengan open pond dapat menghasilkan 19,459.46 liter biodiesel mikroalga. Untuk mengetahui lebih dalam terkait aspek kelayakan carbon capture dengan menggunakan fotobioreaktor maupun open pond akan dibahas lebih mendalam pada sub bab berikutnya dalam analisis biaya manfaat sehingga dapat terlihat perbedaan antara kedua teknologi kultivasi tersebut.

Biodiesel yang dihasilkan oleh mikroalga memenuhi standar SNI berdasarkan penelitian Dyah, 2017 dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Karakteristik Biodiesel Dari Mikroalga

Parameter	Biodiesel Mikroalga	SNI
Massa jenis (g/ml)40° C	0.84	0.84-0.89
Viskositas pada 40° C	2.50-3.91	2.3-6.0
Angka setana	51.17-53.72	Minimal 51
Bliangan penyabunan mg KOH/kg	2.67-3.54	<5
Angka asam mg KOH	0.7-0.8	Maksimal 0,8

Sumber: Dyah, 2017

Dengan adanya hasil penelitian dari Dyah, 2017 membuktikan bahwa biodiesel dari mikroalga dapat digunakan sebagai bahan bakar karena telah memenuhi standar SNI.

Perhitungan Analisis Biaya Manfaat

Analisis biaya manfaat digunakan untuk mengetahui komponen biaya dan manfaat dalam suatu proyek untuk mengetahui apakah proyek tersebut lebih banyak biaya yang dikeluarkan atau manfaat yang ditimbulkan sehingga dapat diputuskan apakah proyek tersebut dapat berjalan atau tidak. Biaya dan manfaat terbagi menjadi *tangible* dan *intangible*. Biaya *tangible* berupa komponen biaya investasi dan biaya operasional proyek, sedangkan biaya intangible berupa hilangnya pemandangan karena pembangunan mikroalga plant. Manfaat tangible berupa biodiesel yang bisa dijual sedangkan manfaat *intangible* berupa terciptanya citra perusahaan menjadi *green company*. Berikut merupakan komponen biaya dan manfaat dari pembangunan mikroalga plant baik dengan menggunakan fotobioreaktor maupun *open pond.*

Tabel 8. *Cost* dan *Benefit* Proyek dengan Fotobioreaktor

No	Komponen	Deskripsi	Jumlah
1		Biaya Investasi	
	Biaya Tangible	Site Preparation , Grading and Compaction	Rp56,344,832.00
		Fotobioreactor	Rp197,000,000.00
		CO_2 sumps, diffusers	Rp28,172,629.60
		CO_2 Distribution	Rp1,878,256.00
		Harvesting (Settling)	Rp50,086,779.20
		Flocullation, DAF	Rp18,782,524.40
		Centrifugation, extraction	Rp78,260,583.60
		Generator set	Rp83,692,538.40

		Water Supply	Rp33,108,000.00
		Nutrient Supply	Rp6,260,829.60
		Waste Treatment	Rp6,260,829.60
		Electrical Supply and Distribution	Rp13,773,853.60
		Instrumentation and Machinery	Rp3,756,512.00
		Engineering (15%)	Rp59,596,429.20
		Total	Rp636,974,597.20
		Biaya Operasional	
		Power, Mixing	Rp2,875,376.40
		Power, Harvesting & Processing	Rp2,053,835.20
		Power, Water Supply	Rp1,897,764.80
		Power Other	Rp410,752.80
		Nutrient : N.P, FE	Rp5,634,768.00
		Flocullant	Rp6,260,829.60
		Waste Disposal	Rp6,260,829.60
		Sub Total	Rp25,394,156.40
		Maintenance (5%)	Rp1,269,707.82
		Labour	Rp276,000,000.00
		Sub Total	Rp277,269,707.82
		Overhead 5%	Rp13,863,485.39
		Biaya Sosial	Rp750,000.00
		Total	Rp356,533,898.11
2	Biaya Intangible	Hilangnya pemandangan di PLTU Cilacap akibat pembangunan mikroalga plant	-
		Total Biaya	Rp993,508,495.31
3	Manfaat Tangible	Biodiesel yang bisa dijual	Rp 466,216,216.22
4	Manfaat Intangible	Meningkatkan citra perusahaan menjadi Green Company	-

Tabel 9. *Cost* dan *Benefit* Proyek dengan *Open Pond*

No	Komponen	Deskripsi	Jumlah
1		Biaya Investasi	
		Site Preparation, Grading, Compaction	Rp15,652,109.60
		Open pond	Rp21,912,974.80
		Paddle wheels	Rp31,304,219.20
		CO_2 sumps, diffusers	Rp25,043,389.60
		CO_2 Distribution	Rp1,878,256.00
		Harvesting (Settling)	Rp43,825,914.00
	Biaya Tangible	Flocullation, DAF	Rp12,521,694.80
		Centrifugation, extraction	Rp78,260,583.60
		Generator set	Rp72,759,208.80
		Water Supply	Rp33,108,000.00
		Nutrient Supply	Rp6,260,829.60
		Waste Treatment	Rp6,260,829.60
		Electrical Supply and Distribution	Rp12,521,694.80
		Instrumentation and Machinery	Rp3,130,414.80
		Engineering (15%)	Rp59,596,429.20

		Total	Rp424,036,548.40
		Biaya Operasional	
		Power, Mixing	Rp2,875,376.40
		Power, Harvesting & Processing	Rp2,053,835.20
		Power, Water Supply	Rp1,897,764.80
		Power Other	Rp410,752.80
		Nutrient : N.P, FE	Rp5,634,768.00
		Flocullant	Rp6,260,829.60
		Waste Disposal	Rp6,260,829.60
		Sub Total	Rp25,394,156.40
		Maintenance (5%)	Rp1,269,707.82
		Labour	Rp276,000,000.00
		Sub Total	Rp277,269,707.82
		Overhead 5%	Rp13,863,485.39
		Biaya Sosial	Rp750,000.00
		Total	Rp318,584,557.43
2	Biaya Intangible	Hilangnya pemandangan di PLTU Cilacap akibat pembangunan mikroalga plant	-
		Total Biaya	Rp742621105.83
3	Manfaat Tangible	Biodiesel yang bisa dijual	Rp 389,189,189.19
4	Manfaat Intangible	Meningkatkan citra perusahaan menjadi Green Company	-

Untuk menilai kelayakan sebuah proyek dapat dilihat dari beberapa aspek seperti NPV, IRR, Payback period dan BC Ratio. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan untuk melihat kelayakan dengan teknologi kultivasi fotobioreaktor maupun open pond sehingga dapat memberikan gambaran untuk keduanya. Teknologi kultivasi dengan fotobioreaktor mempunyai produktivitas 150ton/Ha/tahun, 2 kali lipat dibandingkan dengan open pond yang hanya mampu menghasilkan produktivitas 72ton/Ha/tahun, biomassa tersebut akan mempengaruhi penyerapan CO_2 dan juga biofuel yang dihasilkan. Walaupun nilai investasi dan operasional dari fotobioreaktor lebih tinggi dibandingkan dengan open pond namun dapat ditutup dengan pendapatan dari hasil penjualan biodiesel.

Dengan asumsi luas lahan 1 Ha, umur proyek 20 tahun, discount rate 11%, pajak 10% serta asumsi penjualan biodiesel per liter Rp 26,700 maka didapatkan hasil seperti dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Analisis Biaya Manfaat Fotobioreaktor dan Open Pond

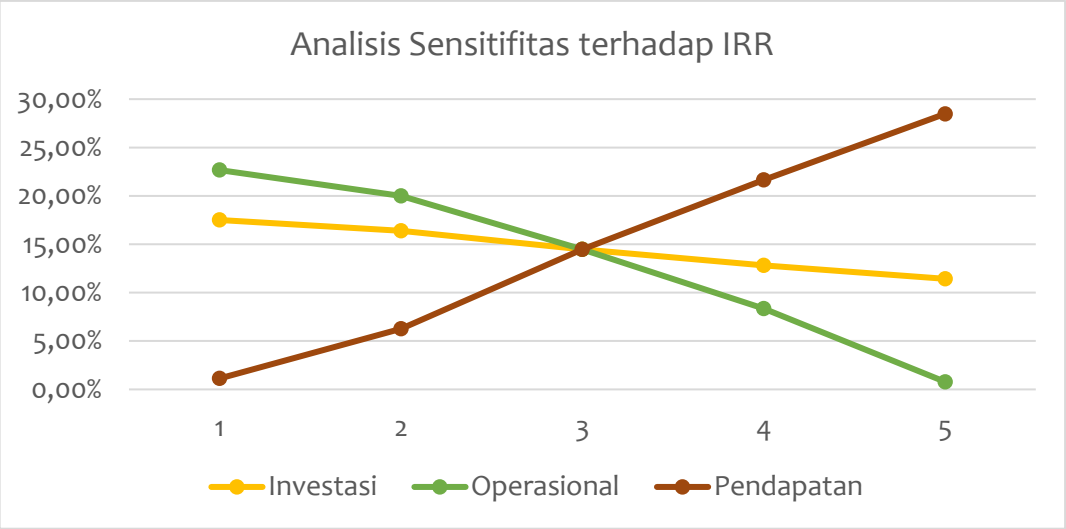
Keterangan	Fotobioreaktor	Open pond
Investasi	Rp636,974,597.20	Rp424,036,548.40
Operasional	Rp356,533,898.11	Rp318,584,557.43
Pendapatan	Rp466,216,216.22	Rp389,189,189.19
NPV	Rp149,118,061.77	Rp81,986,515.97
IRR	14.46%	13.87%
PayBack period	12.86	13.7
BC Ratio	1.2	1.14

Berdasarkan hasil perhitungan diatas terlihat jelas bahwa dengan menggunakan fotobioreaktor maka akan lebih menguntungkan perusahaan.

Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa pendapatan yang sangat sensitif pengaruhnya terhadap IRR dengan persentase sebesar 27.35%. Kemudian disusul oleh Investasi sebesar 6.08% dan operasional sebesar 21.88%. Berikut merupakan ringkasan hasil analisis sensitivitas terhadap IRR. Aspek pendapatan yang paling sensitif terhadap IRR sebesar 27.35%. Ketika pendapatan turun menjadi 85% maka IRR juga turun menjadi 1.13% dan ketika pendapatan naikmenjadi 120% maka IRR juga akan naik menjadi 28.48%.

Tabel 11. Analisis Sensitivitas Terhadap IRR Pada Fotobioreaktor

Internal Rate of Return			
Pertumbuhan	**Investasi**	Operasional	Pendapatan
85%	17.51%	22.67%	1.13%
90%	16.39%	20.00%	6.27%
100%	14.46%	14.46%	14.46%
110%	12.83%	8.36%	21.65%
120%	11.43%	0.78%	28.48%
Sensitivitas	6.08%	21.88%	27.35%



Gambar 7. Grafik Analisis Sensitivitas Terhadap IRR

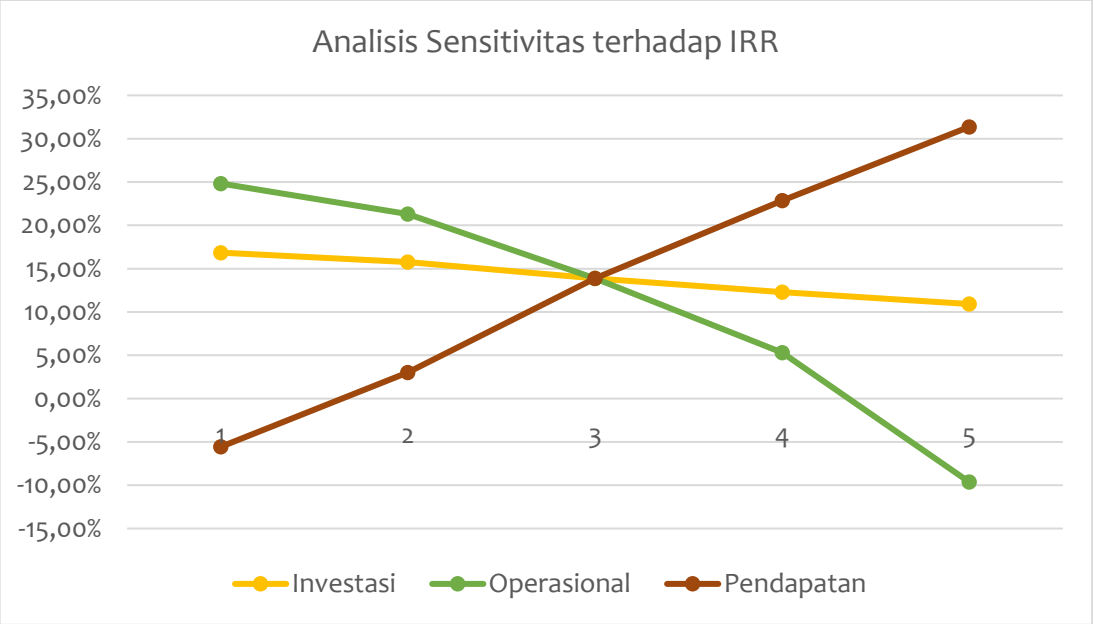
Kemudian dilakukan analisis sensitivitas terhadap IRR untuk mengetahui aspek apa yang paling mempengaruhi terhadap IRR dan Payback period diantara investasi, operasional dan pendapatan dengan asumsi pertumbuhan 85%, 90%, 100%, 110% dan 120%. pertumbuhan tersebut adalah kondisi dimana proyek tersebut mengalami penurunan atau pertambahan pada masing-masing aspek (investasi, operasional dan pendapatan). Hasil analisis sensitivitas terhadap IRR menunjukkan bahwa pendapatan sangat mempengaruhi IRR dengan nilai 36.94%, dalam keadaan normal pendapatan dianggap 100% namun ketika pendapatan menurun menjadi 85% maka hal tersebut akan menurunkan nilai IRR menjadi -5.57%. Hal tersebut berarti proyek tidak layak dilakukan. Sedangkan jika pendapatan turun menjadi 90% maka pendapatan hanya sebesar 3.01%. Sehingga yang perlu dilakukan untuk mempertahankan pendapatan yaitu menjaga agar kinerja dari pegawai dapat maksimal sehingga penjualan biodiesel dapat berjalan lancar sehingga pendapatan tidak turun. Berikut merupakan grafik sensitifitas terhadap IRR.

Untuk menghemat biaya investasi khususnya dalam pembangunan fotobioreaktor dapat dilakukan dengan melibatkan BPPT karena institusi tersebut sudah melakukan penelitian penyerapan emisi dari cerobong pabrik dengan menggunakan fotobioreaktor sejak 2008 sehingga cukup berpengalaman dalam hal tersebut. Kemudian untuk tenaga ahli dalam kultivasi mikroalga dapat

didatangkan dari mahasiswa yang menekuni bidang tersebut seperti yang ada di Universitas IPB, UGM dan Undip serta bekerja sama dengan lembaga penelitian seperti Lipi atau BPPT yang mempunyai fokus penelitian mikroalga. Dengan adanya kerjasama ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas sumberdaya manusia di Indonesia terlebih untuk perkembangan teknologi carbon capture yang sudah masuk dalam opsi pilihan penurunan emisi CO_2 di sektor pembangkit.

Tabel 12. Analisis Sensitivitas terhadap IRR

Internal Rate of Return			
Pertumbuhan	**Investasi**	Operasional	Pendapatan
85%	16.85%	24.83%	-5.57%
90%	15.76%	21.29%	3.01%
100%	13.87%	13.87%	13.87%
110%	12.28%	5.29%	22.87%
120%	10.92%	-9.64%	31.37%
Sensitivitas	5.93%	34.47%	36.94%



Gambar 8. Grafik SensitivitasTerhadap IRR Pada *Open Pond*

Manfaat yang didapatkan dari penggunaan mikroalga sebagai carbon capture terbagi menjadi tiga manfaat antara lain:

a. Manfaat ekonomi

Perhitungan manfaat ekonomi dilakukan secara makro dilihat dari asumsi pendapatan yang diperoleh dari hasil penjualan biomassa mikroalga yang dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel. Kandungan minyak yang tinggi dalam mikroalga menyebabkan mikroalga dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel, sehingga berpotensi untuk menggantikan bahan bakar fosil yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar di PLTU Cilacap maupun oleh masyarakat sekitar. Selain itu residu biomassa mikroalga dapat digunakan sebagai pupuk tanaman maupun pakan ternak.

b. Manfaat lingkungan

Mikroalga yang digunakan sebagai carbon capture dapat menyerap emisi CO_2 sehingga dapat digunakan sebagai upaya mitigasi emisi CO_2 di pembangkit listrik khususnya PLTU Cilacap. Kenaikan konsentrasi CO_2 di udara dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global yang berakibat pada perubahan iklim sehingga diperlukan upaya untuk mitigasi emisi CO_2. Salah satu faktor yang menyebabkan tidak terkontrolnya emisi CO_2 yang dikeluarkan oleh PLTU yaitu belum adanya peraturan yang mengatur baku mutu emisi udara dari sumber tak bergerak seperti PLTU. Prinsip penyerapan CO_2 dengan mikroalga sangat memperhatikan keberlanjutan lingkungan karena selain menyerap emisi CO_2 yang dikeluarkan juga dapat menghasilkan biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel. Sebagaimana kita ketahui bahwa biofuel merupakan bahan bakar nabati yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Dimana hal tersebut juga mendukung dua kebijakan pemerintah sekaligus yaitu kebijakan penurunan emisi CO_2 di sektor pembangkit listrik dan kebijakan bauran energi sebesar 23% pada tahun 2025. Selain itu penerapan mikroalga plant juga untuk mitigasi emisi CO_2 dapat meningkatkan citra perusahaan menjadi *green company*.

c. Manfaat sosial

Manfaat sosial yang didapatkan dari pembangunan mikroalga plant yaitu terbukanya lapangan kerja untuk tenaga ahli untuk operasional mikroalga plant. Setidaknya untuk

operasional mikroalga plant dengan luas 1 ha dibutuhkan tenaga ahli antara lain 1 orang supervisor, 1 orang operator pond, 1 orang operator centrifuge, 1 orang teknisi laboratorium dan 1 orang operator ekstraksi.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kebijakan dan upaya penurunan emisi CO_2 di sektor ketenagalistrikan diatur dalam dokumen komitmen Indonesia atau NDC dibawah koordinasi Direktorat Jenderal EBTKE. Target penurunan emisi CO_2 di sektor pembangkit listrik hingga tahun 2030 sebesar 31.8 juta ton CO_2 hingga saat ini upaya penurunan yang dilakukan telah berhasil menurunkan 3.4juta ton CO_2 melalui penggunaan PLT EBT yang lebih ramah lingkungan serta penggunaan teknologi boiler sub critical dan super critical.
2. Potensi mikroalga untuk menyerap seluruh emisi CO_2 di Unit 1 dan 2 PLTU Cilacap memerlukan luas lahan 7,590 Ha dengan fotobioreaktor sedangkan jika menggunakan open pond membutuhkan luasan lahan 15,813 Ha.
3. Hasil perhitungan analisis biaya manfaat menunjukkan bahwa menggunakan fotobioreaktor lebih layak dilaksanakan dibandingkan dengan open pond, hal tersebut terlihat dari nilai keriteria kelayakan proyek yaitu NPV Rp149,118,061.77, IRR 14.46%, Payback period 12.86 tahun dan BC Ratio 1.2 sehingga PLTU Cilacap lebih baik menggunakan teknologi kultivasi dengan fotobioreaktor.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu adanya peraturan yang mewadahi riset carbon capture untuk PLTU sehingga riset dapat berjalan dengan baik.
2. Dalam penelitian ini tidak dilakukan percobaan laboratorium untuk mengetahui efektifitas mikroalga dalam penyerapan emisi CO_2 dari PLTU Cilacap sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan eksperimental laboratorium.

Daftar Pustaka

Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. (2017). Rencana Umum Penyediaan Ketenagalistrikan PLN 2017-2026. Jakarta

Kostald, Charles dan Young, Daniel. 2010. Cost Analysis of Carbon Capture and Storage for Latrobe Valley. University of California

Darsi, Radyanti. Agus Supriadi Dan Ade Dwi Sasanti. (2012). Karakteristik Kimiawi dan Potensi Pemanfaatan *Dunaliella Salina* dan *Nannocholopsis* sp. Fishtech. Universitas Sriwijaya.

Riyadi, Agung. (2013). Serapan Emisi CO2 dari Cerobong Industri Susu Melalui Beberapa Jenis Mikroalga Pada Sistem Airlift Fotobioreaktor. Disertasi. IPB.

Presiden Republik Indonesia. (2014). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional. Jakarta.

Purba, Radiks. (1997). Analisis Biaya dan Manfaat. Rineka Cipta. Jakarta

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=37303 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=31527 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=34034 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=31289 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=39562 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=52816 diakses pada 2 Januari 2018

http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=39883 diakses pada 2 Januari 2018

http:/www.google earth.com diakses pada 2 Januari 2018