

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin langkanya bahan bakar konvensional, meningkatnya emisi gas rumah kaca, serta tingginya harga minyak bumi merupakan suatu rangkaian isu terkait energi yang mendesak penyelesaian dengan mengembangkan bahan baku alternatif biomassa. Ide pemanfaatan biomassa telah banyak diusung dan ditinjau berbagai kalangan praktisi, ilmuwan serta pihak-pihak terkait dalam pengembangan energi baru dan terbarukan. Sama halnya dengan di Indonesia, terkait sasaran pembangunan iptek dalam RPJMN 2010-2014 yang pertama adalah di bidang ketahanan pangan yang selanjutnya ketahanan energi. Dalam agenda riset nasional, Indonesia memiliki cadangan berbagai sumber energi walau tidak dalam jumlah yang besar. Prioritas di bidang energi adalah dengan pencapaian ketahanan energi nasional yang menjamin kelangsungan pertumbuhan nasional melalui restrukturisasi kelembagaan dan optimasi pemanfaatan energi alternatif seluas-luasnya (Agenda Riset Nasional, 2010).

Faktor pendorong atas pengembangan bioenergi di hampir seluruh belahan dunia diantaranya ketahanan pangan, perubahan tata guna lahan dan sumberdaya air; keamanan penyediaan energi dan dampak terhadap lingkungan. Dalam memproduksi bioenergi alangkah baiknya apabila bahan bakunya tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, dapat ditumbuhkan di lahan-lahan yang kurang produktif sehingga tidak perlu membuka lahan baru atau mengubah lahan pertanian menjadi lahan untuk tanaman penghasil minyak (Fraiture, 2007; Cohen et al., 2009). Menurut Lin et al. (2011), keamanan penyediaan energi berarti energi tersebut harus cukup, terjangkau dan selalu tersedia. Ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil merupakan ancaman serius dalam ketahanan penyediaan energi nasional sehingga menuntut pemerintah mengeluarkan

kebijakan dalam bidang energi dengan meningkatkan produksi dan penggunaan sumberdaya energi hayati. Belum lagi dampak terhadap lingkungan terkait pembakaran bahan bakar fosil merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca berakibat pada perubahan iklim. Menurut Wahlund et al. (2004), pengembangan bioenergi khususnya biodiesel dilihat dari dampak terhadap lingkungan terkait penggunaannya.

Dampak-dampak lingkungan yang diakibatkan oleh produksi biofuel dari biomassa tersebut juga sudah banyak dikaji, namun beberapa dari kajian lingkungan proses produksi biomassa khususnya mikroalga masih bersifat asuntif karena memang belum banyak diproduksi pada skala industri. Dampak terkait produksi biofuel tersebut meliputi potensial pemanasan global, penggunaan energi, penggunaan air, perubahan tata guna lahan, eutrofikasi, penipisan sumber daya abiotik, penipisan lapisan ozon, serta dampak toksisitas terhadap manusia (Lardon et al., 2009; Stephenson et al., 2010; Campbell et al., 2010; Jorquera et al., 2010; Clarens et al., 2010).

Mikroalga sebagai alternatif pengembangan energi berkelanjutan merupakan salah satu dari sekian banyak alternatif sumber bahan baku lipid menjanjikan karena efisiensi fotosintesi tinggi dalam memproduksi biomassa; memiliki laju produktifitas dan pertumbuhan yang cepat bila dibandingkan dengan tanaman penghasil lipid lainnya; kultivasi mikroalga tidak memerlukan lahan yang luas dan subur sehingga tidak akan berkompetisi dengan produksi tanaman pangan. Mikroalga juga memiliki kemampuan memperbaiki CO<sub>2</sub> di atmosfer, *flue gases* atau karbon yang terlarut di dalam selnya selama masa pertumbuhan sementara secara bersamaan menangkap energi matahari dengan efisiensi 10-50 kali lebih besar dibandingkan dengan tanaman terestrial lain, yang tentunya merupakan suatu kesempatan emas dalam program pengurangan karbon (Ferrell & Reed, 2010 dan Brennan & Owende, 2010).

Walau bagaimanapun, tinjauan kritis permasalahan produksi biodiesel mikroalga seringkali tidak tercantum jelas, berimbas pada pengembangan

mikroalga sebagai bahan baku biodiesel menjadi kurang terarah. Mengacu pada hal tersebut, maka diperlukan suatu instrumen kajian lingkungan yang salah satunya dilakukan dengan kajian daur hidup (*Life Cycle Assessment – LCA*). Penelitian yang dilakukan oleh Kadam (2002), membandingkan kajian lingkungan dari proses PLTU batu bara dengan PLTU yang pembakarannya dikombinasikan dengan alga. Hasil yang dikemukakan bahwa proses PLTU dengan kombinasi pembakaran dengan alga memiliki 4 (empat) dampak yakni potensi pemanasan global, penipisan sumber daya alam, potensi asidifikasi udara dan eutrofikasi. Emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, partikulat, metan dan konsumsi energi fosil memiliki hasil yang lebih rendah namun lebih banyak memerlukan gas dan minyak serta eutrofikasi menjadi lebih tinggi. Dalam laporan Aquafuels (2011) yang mengkaji 7 (tujuh) penelitian LCA terkait alga (Kadam, 2002; Lardon et al., 2009; Clarens et al., 2010; Jorquera et al., 2010; Sander & Murthy, 2010; Stephenson et al., 2010; dan Campbell et al., 2010) menyatakan hanya sedikit penelitian LCA yang dilakukan terkait kurangnya data dari *operating plant*, sehingga data terkesan spekulatif.

Dalam hasil laporan tersebut terdapat beberapa kesimpulan mengenai studi LCA yang pernah dilakukan yakni studi-studi tersebut hampir sebagian besar mempertimbangkan secara luas dari segi desain konseptual (kecuali Stephenson et al., 2010) yang hanya menyediakan informasi mengenai sistem produksi biofuel alganya saja; perbandingan yang dilakukan terdapat ketidakkonsistenan penentuan batasan sistem dan unit fungsional; studi menggunakan metode alokasi yang mungkin diragukan karena terlalu rumit; tidak adanya fasilitas komersil produksi biofuel alga membuat data primernya berdasarkan asumsi, dikaji secara sebagian bukan berdasar pada proses terintegrasi; dan validitas dari berbagai hasil banyak dipertanyakan oleh beberapa ahli di lapangan (Aquafuels, 2011).

Pengembangan serta inovasi yang diterapkan dalam berbagai skala baik laboratorium, pilot plant, maupun skala komersil dari bioenergi yang terbarukan dan berkelanjutan, biodiesel dari mikroalga dapat didukung dengan kajian lingkungan melalui pendekatan LCA sebagai tolok kajian dalam memandu suatu

proses/produk/jasa dengan memperhatikan beberapa faktor pendukung kajian seperti kajian secara lengkap dengan penentuan batasan sistem, pendataan terhadap input maupun output dalam proses yang jelas, penilaian dampak daur hidup produk yang terlepas ke lingkungan serta melakukan uji sensitivitas terhadap hasil inventaris data dan kajian dampak terhadap lingkungan.

Keuntungan yang dapat diperoleh dengan melakukan LCA diantaranya adalah mengidentifikasi dampak lingkungan terkait suatu proses atau mengetahui hal-hal yang sangat penting diperhatikan yang berdampak pada lingkungan di sepanjang daur hidup produk, proses maupun jasa; mendapatkan pemahaman baik dampak yang muncul dari hulu ke hilir dari berbagai alternatif pilihan desain maupun proses; memberikan informasi dan panduan dalam penentuan keputusan sebagai program inovasi; mengkomunikasikan secara lebih efektif dan terpercaya terkait tuntutan lingkungan; sebagai tolok ukur, laporan serta jalur perkembangan sepanjang waktu; dapat diaplikasikan membandingkan produk, sistem maupun proses terutama melihat ‘tapak’nya dengan berbagai alternatif pilihan yang relevan (Grierson & Strezov, 2012).

Dalam penelitian ini, penentuan sistem produk meliputi tahapan produksi biodiesel mencakup tahap kultivasi mikroalga, pemanenan biomassa, ekstraksi sumber lipid hingga pada konversi lipid menjadi biodiesel (Sistem proses produksi biodiesel berasal dari biomassa mikroalga dengan variasi pada tahapan proses kultivasi menggunakan *Photobioreactor* (PBR) (Brennan & Owende, 2010; Dragone et al., 2010; Parvatker, 2013) dan *Open Pond oval-shaped* (OP) (Travieso et al., 2001; Christi, 2007; Dragone et al., 2010) serta tahapan ekstraksi dengan pengeringan lalu diekstraksi dengan menggunakan solven dan tanpa pengeringan atau dengan biomassa basah dengan prosedur ekstraksi lipid basah (*Wet Lipid Extraction Procedure – WLEP*) (Sathish, 2012)) dari sistem produksi yang telah dikaji dengan penentuan tujuan dan batasan sistem yang berbeda. Berdasarkan penentuan batasan sistem tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan LCA mulai dari produk biodiesel berasal hingga pada produk dihasilkan yang selanjutnya direpresentasikan dalam LCA “*cradle to gate*”

dimana tahapan penggunaan biodiesel sampai pada akhir masa penggunaannya tidak dibahas lebih lanjut. Kajian lingkungan dengan LCA “*cradle to gate*” dilakukan untuk membandingkan dan mengevaluasi sistem proses produksi biodiesel yang berasal dari Mikroalga guna mengkaji komponen atau tahapan dalam produksi biodiesel yang berkontribusi terhadap degradasi lingkungan dan inefisiensi proses sehingga rekomendasi peluang perbaikan kualitas lingkungan dan pengembangan sumber bahan baku energi alternatif berkelanjutan dapat dilakukan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Energi dependensi minyak bumi tidak seiring dengan ketersediaan sumber dayanya, belum lagi melambungnya harga dasar minyak mentah serta tingginya tingkat pencemaran menjadi alasan pendorong dalam pengembangan alternatif solusi yakni bioenergi. Mikroalga bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi menjadi biodiesel. Pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku produksi bahan bakar cair memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan tanaman penghasil minyak lainnya (Brennan & Owende, 2010; Mata et al., 2010; Um & Kim, 2009; Dragone et al., 2010). Namun dalam mengatasi kelangkaan energi dan ketahanan energi dengan memanfaatkan energi biomassa yang berasal dari mikroalga masih perlu dikaji lebih mendalam mengenai dampak aspek lingkungannya terkait proses produksi biodiesel dari mikroalga bersamaan dengan pengembangan proses serta keseluruhan sistem perancangan teknologi guna memastikan kelayakan teknis demi keberlanjutan sumber daya energi biomassa tsb.

Kajian LCA “*cradle to gate*” perlu dilakukan guna mengidentifikasi, membandingkan dan mengevaluasi komponen atau tahapan dalam produksi biodiesel (Sistem proses produksi biodiesel berasal dari biomassa mikroalga dengan variasi pada tahapan proses kultivasi menggunakan *Photobioreactor* (PBR) dan *Open Pond oval-shaped* (OP) serta tahapan ekstraksi dengan pengeringan lalu diekstraksi dengan menggunakan solven dan tanpa pengeringan atau dengan biomassa basah dengan prosedur ekstraksi lipid basah (*Wet Lipid*

*Extraction Procedure – WLEP*)) yang berpotensi pada degradasi lingkungan dan inefisiensi proses dapat diketahui sehingga peluang dalam perbaikan kualitas lingkungan dan pengembangan sumber bahan baku energi alternatif yang berkelanjutan dapat direkomendasikan.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan evaluasi sistem produksi biodiesel dengan kajian lingkungan melalui LCA “*cradle to gate*” dari proses produksi biodiesel mikroalga mulai dari tahapan kultivasi mikroalga, pemanenan biomassa, ekstraksi lipid hingga konversi menjadi biodiesel (Sistem proses produksi biodiesel berasal dari biomassa mikroalga dengan variasi pada tahapan proses kultivasi serta tahapan ekstraksi).
2. Menyajikan rekomendasi atau usulan terkait aspek lingkungan berdasarkan hasil LCA “*cradle to gate*” guna melakukan upaya minimasi dampak akibat proses produksi biodiesel mikroalga.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Secara umum penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai rujukan memberikan deskripsi kajian lingkungan proses produksi biodiesel pemanfaatan mikroalga sebagai alternatif bahan bakunya; dengan melakukan LCA “*cradle to gate*” tersebut, aspek lingkungan dapat teridentifikasi lebih awal dalam pengembangan produk dan proses, komponen atau tahapan dalam produksi biodiesel yang berpotensi pada degradasi lingkungan dan inefisiensi proses dapat diketahui sehingga rekomendasi mengenai peluang dalam perbaikan kualitas lingkungan dan pengembangan sumber bahan baku energi alternatif yang berkelanjutan dapat dilakukan; serta memberikan sumbangsih terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

## 1.5 Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian terkait kajian daur hidup atau LCA dalam proses produksi dengan pemanfaatan mikroalga sebagai alternatif bahan bakunya sebagai berikut:

**Tabel 1.1** Hasil Penelitian terkait dengan Kajian Daur Hidup Proses Produksi Biodiesel dengan Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku

NO	JUDUL PENELITIAN	HASIL	REFERENSI
1.	A Value Chain and Life-Cycle Assessment Approach to Identify Technological Innovation Opportunities in Algae Biodiesel	Berdasarkan hasil dari analisis rantai nilai, yang paling memiliki bobot nilai tinggi pada bagian hulu yakni pada industri perminyakan pada sektor pengeboran, produksi dan transportasi minyak mentah dimana untuk rantai biodiesel alga yakni pada tahap pembiakan, pemanenan, dan transportasi. Pada industri perminyakan, sangat diperlukan teknologi khusus dan peralatan yang digunakan, modal besar, dan resiko tinggi pada tahap eksplorasi. Dalam industri biodiesel alga, tekanan pasar diperkirakan serupa, dengan tambahan energi intensif pada pengeringan alga guna mengurangi biaya transportasi sehingga memungkinkan biomassa alga dapat diproses selayaknya proses ekstraksi minyak konvensional. Analisis daur hidup dilakukan guna menggambarkan perbaikan proses pada pemanenan dan ekstraksi minyak yang mampu mengurangi input energi pada proses produksi biodiesel alga.	R. Levine, A. Oberlin dan P. Andriaens, University of Michigan, 2009
2.	Biodiesel from algae: challenges and prospects	Analisis daur hidup dengan metodologi terkini menyatakan proses biodiesel memiliki keseimbangan energi positif dan potensi pemanasan global. Skema prospektif dalam pengembangan skala produksi alga harus diinformasikan dengan seksama dengan permodelan proses dan kajian daur hidup dari tahapan desain. Menyeleksi <i>strain</i> dengan tingkat produksi lipid tinggi dioptimalkan pada kondisi iklim regional dan produksi skala besar biomassa alga, dan perekayasaan metabolisme juga diperlukan. Peluang inovasi dan pendekatan yang tepat dalam mengatasi beberapa tantangan sangat diperlukan berupa keterpaduan antara perekayasaan dan biologi dimana dari keduanya belum ada yang tepat dalam menghasilkan penyelesaian dalam aspek isolasi.	Stuart A. Scott, Matthew P. Davey, John S. Dennis, Irmtraud Horst, Christopher J. Howe, David J. Lea-Smith dan Alison G. Smith, 2010, Current Opinion in Biotechnology 21:277-286

NO	JUDUL PENELITIAN	HASIL	REFERENSI
3.	Biodiesel From Microalgae – A Sustainability Analysis Using Life Cycle Assessment	Kajian daur hidup biodiesel mikroalga memberikan hasil beragam terkait dampak lingkungan ketika dibandingkan dengan diesel minyak mentah. Berdasarkan skenario produksi yang berbeda, penggunaan kolam terbuka tahap kultivasi memberikan nilai <100 untuk potensi pemanasan global dan lebih rendah dibanding diesel minyak mentah. Guna membuat produksi biodiesel mikroalga menjadi teknologi berkelanjutan, penggunaan atau pemanfaatan produk dampingan tetap harus dipertimbangkan. Teknologi baru dimana membutuhkan lebih sedikit energi perlu dikembangkan pada tahap pemanenan untuk membuat keseluruhan proses menjadi efisien. Pengkulturan alga bisa menjadi teknik pengurangan CO <sub>2</sub> yang efektif tidak hanya karena lebih murah dibandingkan dengan teknologi lainnya tetapi juga karena merupakan bahan bakar biodiesel yang terbarukan.	Parvatker A. G., 2013, International Journal of Chemical and Physical Sciences Vol. 2, Special Issue – March 2013
4.	Comparing life cycle assessments of different biofuel option	Kekurangan dalam penarikan kesimpulan dan konsistensi hasil pada kajian daur hidup bahan bakar nabati menyuguhkan tantangan tersendiri bagi peneliti maupun pembuat kebijakan. Menyoroti tantangan tersebut maka diperlukan pembedaan antara sumber variabilitas dan ketidakpastian. Meskipun masalah variabilitas dan ketidakpastian banyak muncul di berbagai hasil kajian daur hidup bahan bakar nabati, tetap saja kajian ini merupakan perangkat kuat ketika diaplikasikan secara konsisten pada sistem produksi dalam memilih bahan bakar dengan pertimbangan aspek lingkungan terlebih dalam penentuan kebijakan. Kajian daur hidup dapat digunakan untuk perbaikan secara kontinu dari bahan baku dan teknologi konversi bahan bakar nabati, memiliki peranan utama dalam penelitian, dan pengembangan dalam perkembangan alur produksi bahan bakar hingga masa mendatang.	Alissa Kendall dan Juhong Yuan, Current Opinion in Chemical Biology 2013, 1: 1-5
5.	Life cycle analysis of algae biodiesel	Dalam kajian daur hidup ini, ditemukan rintangan besar teknologi alga yakni efisiensi proses pada komponen yang digunakan. Perkembangan teknologi alga sangat penting terhadap kesuksesan bahan bakar alga. Potensi pemanfaatan alga sebagai bahan baku bahan bakar nabati bukanlah hal yang baru, bagaimanapun kajian daur hidup ini dan sumber lainnya sangat jelas menunjukkan kebutuhan dalam pengembangan teknologi guna membuat bahan bakar alga menjadi berkelanjutan dan komersil secara nyata.	Kyle Sander dan Ganti S. Murthy, International Journal of Life Cycle Assessment (2010) 15: 704-714
6.	Life Cycle Assessment of the Microalgae Biofuel Value Chain – A critical review of existing studies	Kajian daur hidup dapat merupakan suatu perangkat berharga dalam berinovasi pada rantai nilai mikroalga untuk komersialisasi. Pada kasus biomassa alga, alokasi merupakan kunci penting metodologi yang memerlukan konsistensi dalam mengkaji seluruh teknologi dan alur proses sebagaimana dapat memberikan pertimbangan dalam penetapan keputusan baik dalam pemanfaatan limbah dan produk dampingan yang	Scott Grierson dan Vladimir Strezov, BIONATURE 2012: Te Third International Conference on Bioenvironment, Biodiversity and Renewable Energies. ISBN: 978-1-61208-191-5

NO	JUDUL PENELITIAN	HASIL	REFERENSI
7.	Life cycle analysis of microalgal biodiesel and future prospects for microalgae biotechnology	dihasilkan. Peranan kajian daur hidup dalam industri bahan bakar alga antara lain menentukan kelayakan biodiesel alga guna memenuhi energi transportasi berkelanjutan, sebagai panduan desain proses untuk peningkatan aspek berkelanjutan dalam sistem produksi, mengidentifikasi terapan praktis terbaik pemrosesan biomassa alga menjadi bahan bakar.	Laura B. Brentner, 2011, International Algae Congress, Berlin
8.	Microalgal biodiesel and the Renewable Fuel Standard's greenhouse gas requirements	Biodiesel mikroalga dievaluasi dari empat pengkondisian produksi yang berbeda, tidak ada dari keempat pengkondisian tersebut yang memenuhi standar bahan bakar terbaru namun bahan bakar alga tersebut memiliki nilai emisi gas rumah kaca <50% dibanding emisi yang dikeluarkan bahan bakar minyak bumi pada sektor transportasi di tahun 2005. Analisis monte carlo dilakukan untuk mengkalkulasikan distribusi probabilitas dampak lingkungan dari biodiesel mikroalga. Koefisien korelasi Tornado digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang berkontribusi tinggi pada total dampak. Keempat parameter yang memiliki dampak terbesar pada hasil diantaranya kandungan lipid mikroalga, masa hidup penggunaan reaktor PBR, konsumsi energi pada <i>microstrainer</i> dan <i>belt filter</i> dalam proses pemanenan serta kuantitas heksan yang dikonsumsi pada proses ekstraksi. Dengan melakukan perbaikan pada keempat parameter ini dapat mengurangi potensi pemanasan global, eutrofikasi, penipisan lapisan ozon dan potensi ekotoksitas produksi biodiesel mikroalga.	Kullapa Soratana, Willie F. Harper Jr., Amy E. Landis, Journal of Energy Policy 46 (2012) 498-510
9.	Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward	Pada tahapan terkini, biomassa mikroalga masih belum dapat dijadikan potensi secara komersial dalam produksi bahan bakar karena input energi yang besar dibanding tanaman terrestrial lain. Mengacu pada hasil kajian daur hidup, rasio efisiensi konversi energi pada mikroalga masih terbilang lebih rendah dibanding tanaman rapa, kelapa sawit, dan tanaman jarak mengindikasikan ketidakberlanjutan produksi bahan bakar dari mikroalga. Hingga saat ini, produksi biodiesel dari mikroalga masih secara ideal dianggap sebagai produk utama saja. Perekayasa genetik memiliki peranan penting dalam meningkatkan nilai dalam keseluruhan daur hidup produksi bahan bakar mikroalga. Mikroalga yang dimodifikasi genetiknya memiliki kemampuan tumbuh dalam kondisi konsentrasi CO <sub>2</sub> yang tinggi, mampu bertahan dengan adanya kontaminan dalam emisi gas yang dikeluarkan dari cerobong maupun air limbah dan memungkinkan untuk menghasilkan kandungan lipid tinggi dalam selnya. Demi keberlanjutan dan manfaat terhadap lingkungan, semua tahapan proses dalam produksi bahan bakar mikroalga agar lebih disederhanakan terutama dalam	Man Kee Lam dan Keat Teong Lee, Journal of Biotechnology Advances 30 (2012) 673-690

NO	JUDUL PENELITIAN	HASIL	REFERENSI
		<p>penggunaan energi ekstensif. Sebagai tambahan, proses harus bisa diimplementasikan dengan mudah pada industri bahan bakar dari alga yang sudah ada dan dapat diadopsi pada Negara ketiga karena dengan mengkulturkan mikroalga untuk produksi bahan bakar tidak hanya dapat menghasilkan keuntungan dan manfaat terhadap lingkungan tetapi juga dapat membantu manusia dalam ketahanan energi maupun ketahanan pangan.</p>	

Penelitian mengenai dampak lingkungan pemanfaatan mikroalga sebagai alternatif bahan baku biodiesel menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment “cradle to gate”* belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga diperlukan penelitian guna mengidentifikasi, membandingkan dan mengevaluasi komponen atau tahapan dalam produksi biodiesel (Sistem proses produksi biodiesel berasal dari biomassa mikroalga dengan variasi pada tahapan proses kultivasi menggunakan *Photobioreactor* (PBR) dan *Open Pond oval-shaped* (OP) serta tahapan ekstraksi dengan pengeringan lalu diekstraksi dengan menggunakan solven dan tanpa pengeringan atau dengan biomassa basah dengan prosedur ekstraksi lipid basah (*Wet Lipid Extraction Procedure – WLEP*)) yang berpotensi pada degradasi lingkungan dan inefisiensi proses dapat diketahui sehingga peluang dalam perbaikan kualitas lingkungan dan pengembangan sumber bahan baku energi alternatif yang berkelanjutan dapat direkomendasikan

