

MODEL PENGGUNAAN LAHAN DAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN UNTUK BAHAN BAKU BIODISEL KELAPA SAWIT: STUDI KASUS DI KABUPATEN ROKAN HILIR**LAND USE AND LAND USE CHANGE MODEL FOR PALM OIL BIODIESEL FEEDSTOCK: A CASE STUDY AT ROKAN HILIR, RIAU**Laurinciana S. Sampebatu^{1)*}, Yandra Arkeman^{2,5)}, Erliza Hambali^{2,5)}, Vincent Gaspers³⁾, Bambang Hero Saharjo⁴⁾¹⁾Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Email: rensiku@gmail.com²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor³⁾Fakultas Ekonomi, Universitas Trisakti⁴⁾Departemen Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor⁵⁾Surfactant and Bioenergy, Institut Pertanian Bogor

Makalah: Diterima 29 Juli 2015; Diperbaiki 4 November 2015; Disetujui 10 November 2015

ABSTRACT

Land use and land use change for palm oil plantation is having both positive and negative influence to the increase of CO₂ emission. This research was intended to (1) Analyze land use change in such case of Rokan Hilir district between the year of 2009 and 2011; (2) Measure CO₂ emission that produced by land use change for palm oil plantation, and (3) Designing a model of land use and land use change in order to minimize CO₂ emission. Land use change was identified using GIS based analysis, while CO₂ emission was measured by using IPCC 2006 method. The model of land use change was established through the method of Genetic Algorithm. The result of the research shows that net CO₂ emission that produced during the year of 2009 to 2011 in Rokan Hilir district was 0.89 Mt/year. The additional area of 676 Ha for biodiesel feedstock of palm oil was came from 169 gens of 13x13 matrix where produced negative emission value (carbon sequestration) of 0.067 Mt CO₂e/year. This emission can be reduced significantly by changing land use as calculated using the model of land use change that developed is this research, where as the number of emission then will be 0.82 Mt CO₂e/year.

Keywords: carbon stock, CO₂ emission, land use and land use change, palm oil, genetic algorithm

ABSTRAK

Penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan untuk kebun kelapa sawit dapat memberikan pengaruh baik ataupun buruk terhadap peningkatan jumlah emisi CO₂. Penelitian ini bertujuan (1) Menganalisis perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hilir tahun 2009 dan tahun 2011, (2) Menghitung emisi CO₂ konversi lahan menjadi kelapa sawit dan 3) Merancang model penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan yang memiliki nilai emisi CO₂ minimum. Identifikasi perubahan penggunaan lahan menggunakan GIS dan perhitungan emisi CO₂ menggunakan metode IPCC 2006. Model dibangun menggunakan genetic algoritma. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai net emisi CO₂ di Kabupaten Rokan Hilir yang ditimbulkan akibat konversi lahan menjadi kelapa sawit sebesar 0,89 Mt CO₂e/tahun pada tahun 2009-2011. Penambahan luasan lahan bahan baku biodiesel kelapa sawit sebesar 676 ha dari matriks 13x13 sebanyak 169 gen dihasilkan nilai emisi negatif (sekuestrasi karbon) sebesar 0,067 Mt CO₂e/tahun. Emisi ini dapat dikurangi secara signifikan dengan merubah penggunaan lahan sesuai perhitungan model penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan menjadi 0,82 Mt CO₂e/tahun.

Kata kunci: emisi CO₂, penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan, kelapa sawit, algoritma genetika

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi aktivitas manusia. Konsumsi energi di dunia terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Permintaan energi dunia antara tahun 2008 hingga tahun 2035 diperkirakan akan terus bertumbuh hingga sekitar 36% hingga tahun 2035, sumber energi fosil masih akan menjadi sumber energi utama (Castiblanco *et al.*, 2015). Saat ini, berkembang beberapa persoalan terkait dengan penggunaan energi fosil sebagai

sumber energi dunia, yaitu semakin berkurangnya sumber bahan energi fosil, fluktuasi harga, dampak terhadap kerusakan lingkungan dan isu perubahan iklim. Persoalan tersebut kemudian mendorong masyarakat global untuk mencari sumber energi alternatif dengan resiko yang lebih kecil dari penggunaan energi fosil. Persoalan tersebut mendorong para peneliti untuk menemukan sumber energi yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil. Sumber energi alternatif tersebut adalah sumber energi yang secara teknis mudah diproduksi, secara ekonomi menguntungkan, ramah

*Penulis untuk korespondensi

lingkungan dan mudah didapatkan (Meher *et al.*, 2006). Biodiesel dalam hal ini adalah salah satu jenis sumber energi potensial yang memenuhi kriteria-kriteria untuk dikembangkan.

Penggunaan biodiesel sebagai salah satu sumber energi alternatif terus berkembang karena berbagai pertimbangan dan kebijakan terkait dengan pengurangan emisi gas karbon dioksida yang menjadi penyebab terjadinya pemanasan global dan efek gas rumah kaca (Abdullah *et al.*, 2009). Hal lain yang juga mendorong pertumbuhan biodiesel sebagai sumber energi alternatif yang semakin mendesak dan penting adalah karena semakin mahalnya harga bahan baku energi fosil terkait dengan semakin menurunnya jumlah persediaan (Abdullah *et al.*, 2009). Berbagai kebutuhan bahan baku biodiesel juga terus dibutuhkan dan dikembangkan, diantaranya kelapa sawit yang merupakan sumber bahan baku yang paling menarik dan potensial.

Indonesia adalah salah satu negara di Asia Tenggara yang menghasilkan kelapa sawit terbesar di dunia bersama dengan Malaysia dan Papua New Guinea. Produksi kelapa sawit di Indonesia bertumbuh 7% setiap tahun selama lebih dari dua dekade, yaitu dari luasan 3,5 juta hektar di tahun 1990 menjadi kurang lebih 13.1 juta hektar di tahun 2010 (Gunarso *et al.*, 2013). Perluasan kebun sawit untuk bioenergi, memiliki peluang memberi pengaruh baik dan buruk terhadap peningkatan jumlah emisi CO₂. Pengaruh ini tergantung pada jenis tutupan lahan yang dikonversi menjadi kebun kelapa sawit (Agus *et al.*, 2013). Misalnya jika lahan yang digunakan untuk kelapa sawit berasal dari hutan primer dengan jumlah kandungan karbon yang tinggi, maka perubahan tersebut akan menyebabkan pelepasan CO₂ yang besar ke atmosfer yang disebut emisi positif. Sebaliknya jika lahan asal yang digunakan untuk kelapa sawit adalah lahan dengan kandungan karbon yang rendah, misalnya lahan rumput, maka perubahan ini meningkatkan serapan karbon yang disebut emisi negatif.

Estimasi pola perluasan kelapa sawit dan perhitungan estimasi emisi karbon memerlukan peta historis spasial lahan terkait dengan perubahan dari berbagai jenis tutupan lahan, termasuk kelapa sawit di suatu area (Hansen *et al.*, 2009). Dari penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa jumlah estimasi emisi karbon yang dihasilkan selama proses ekspansi diestimasi memberikan kontribusi sebesar 18-22% terhadap jumlah emisi karbon yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2020. Beberapa penelitian lain juga mencatat terjadinya proses deforestasi yang terjadi untuk keperluan perluasan kebun kelapa sawit di Indonesia (Hansen *et al.*, 2009; Dewi *et al.*, 2011). Pola perubahan penggunaan lahan (LUC) termasuk untuk keperluan kebun kelapa sawit dengan perencanaan yang tidak tepat, akan mengakibatkan berbagai dampak lingkungan dan sosial yang serius, seperti kehilangan keanekaragaman hayati, emisi gas

rumah kaca dari perubahan kandungan karbon pada biomasa dan tanah, gangguan pernafasan karena kebakaran hutan, kesuburan tanah dan persoalan-persoalan yang terjadi karena konflik sosial (Gibbs *et al.*, 2008; Koh dan Wilcove, 2008; Wicke *et al.*, 2008).

Upaya pengembangan kelapa sawit yang berkelanjutan untuk pengembangan bahan baku biodiesel, sangat penting untuk memperhatikan pola penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan yang berkelanjutan. Model yang dikembangkan yaitu dengan menggunakan algoritma genetika yang merupakan teknik pencarian dan teknik optimasi yang cara kerjanya meniru proses evolusi dan perubahan struktur genetik pada makhluk hidup. Algoritma genetika mulai bekerja pada calon-calon solusi yang telah dikodekan dalam bentuk kromosom. Bagian terkecil dari kromosom adalah gen yang menggambarkan informasi dalam ruang pencarian. Kumpulan gen membentuk sebuah kromosom yang menggambarkan solusi masalah yang lengkap. Untuk mencari solusi yang paling optimal menggunakan fungsi *fitness* (Arkeman *et al.*, 2012).

Perencanaan penggunaan lahan, algoritma genetika akan memilih kromosom yang menyandikan tipe penggunaan lahan. Setiap kromosom diwakili oleh dua dimensi grid dari gen yang dikenal dengan *spatial based representation*, dimana posisi dari gen ini mewakili luasan lahan dan nilai tertentu yang mewakili tipe penggunaan lahan. Pendekatan ini telah berulang kali dilakukan pada beberapa penelitian terdahulu (Cao *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2012; Mathhews *et al.*, 2006; Fotakis *et al.*, 2012; Steward *et al.*, 2014; Steward dan Janssen, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk merancang model penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan atau *land use and land use change* (LULUC) untuk bahan baku biodiesel kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian seperti pada Gambar 1 terdiri tiga bagian yaitu: 1) Identifikasi penggunaan lahan yang digunakan untuk pengembangan kelapa sawit, 2) Perhitungan emisi gas CO₂ akibat penggunaan dan perubahan penggunaan lahan untuk kelapa sawit dan 3) Perancangan model penggunaan dan perubahan penggunaan lahan untuk bahan baku biodiesel kelapa sawit.

Identifikasi Penggunaan Lahan dan Perubahan Penggunaan Lahan

Penelitian ini terdiri dari 2 tahapan yaitu: 1) Identifikasi jenis penggunaan lahan tahun 2009 dan tahun 2011 dan 2) Analisis penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan untuk kelapa sawit. Identifikasi penggunaan lahan dilakukan dengan analisis secara spasial menggunakan peta

dasar resolusi rendah yaitu Peta Gabungan Propinsi Riau dan Peta Potensi Desa pada tingkat kabupaten tahun 2009 dan 2011 dan masing-masing ditumpang-susunkan dengan Peta Penggunaan Lahan Tahun 2009 dan Peta Penggunaan Lahan Tahun 2011. Salah satu kabupaten yang dianalisis adalah Kabupaten Rokan Hilir. Pemilihan Peta tahun 2009 berdasarkan UU RI No. 32 Tahun 2009 dan peta tahun 2011 dengan ditetapkannya Pedoman Perkebunan Kelapa Sawit yang berkelanjutan (*Indonesian Sustainable Palm Oil/ISPO*) No.19/Permentan/ OT.140/3/2011, sedangkan untuk konversi lahan menjadi kebun kelapa sawit menggunakan Peta Kebun Kelapa sawit di Propinsi Riau.

Penghitungan Emisi CO₂ dari Perubahan Penggunaan Lahan

Perhitungan emisi gas CO₂ meliputi 1) perhitungan luasan konversi 22 tipe tutupan lahan menjadi kebun kelapa sawit dan 2) perhitungan nilai kandungan karbon dan 3) perhitungan nilai emisi CO₂ akibat konversi kebun kelapa sawit di Kabupaten Rokan Hilir. Nilai kandungan karbon menggunakan angka *default* kandungan cadangan karbon dan emisi historis (Dephut, 2012) pada setiap jenis penggunaan lahan untuk tahun 2009 dan tahun 2011. Perhitungan karbon karena konversi penggunaan lahan menjadi kelapa sawit dengan persamaan:

$$\Delta C_{konversi} = C_{TL} - C_{PO} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- $C_{konversi}$: Perubahan kandungan karbon konversi menjadi kebun kelapa sawit
- C_{TL} : Total kandungan karbon tipe lahan awal
- C_{PO} : Total kandungan karbon kelapa sawit.

Perubahan karbon stok menggunakan metode *stock difference* yaitu selisih antara kandungan karbon waktu 1 dan waktu 2 (IPCC, 2006):

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

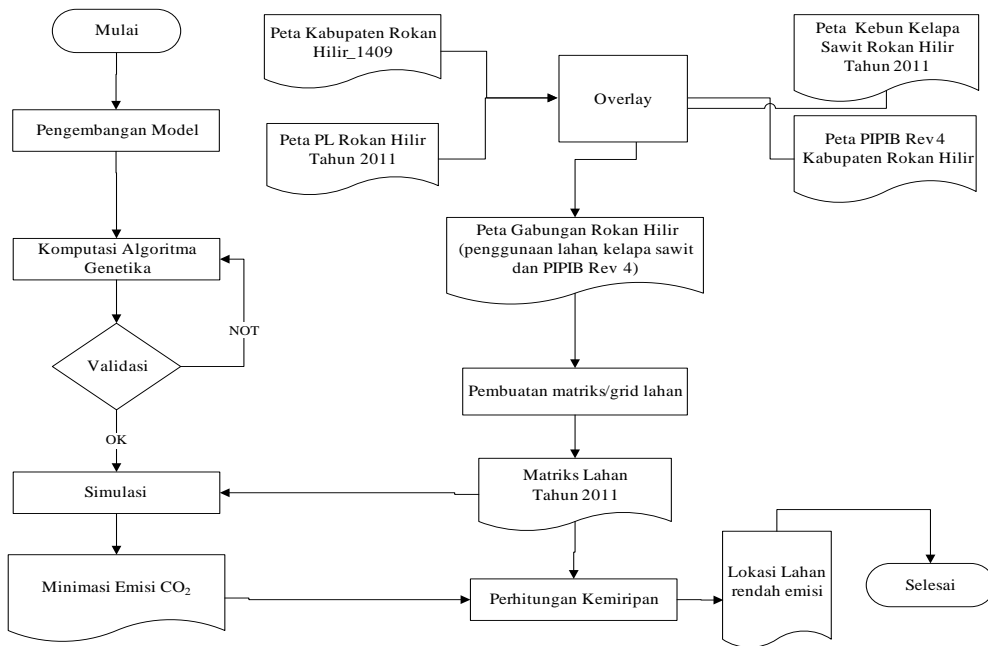
- ΔC : Perubahan kandungan karbon
- C_{t_1} : Total kandungan karbon pada tahun ke-1
- C_{t_2} : Total kandungan karbon pada tahun ke-2

Perubahan karbon stok menjadi emisi CO₂ diperoleh dengan mengalikan perbandingan berat molekul CO₂ dengan berat molekul C.

$$Emisi CO_2 = 0,367 X \Delta C \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

3.67 : adalah faktor konversi dari C ke CO₂. Berat atom C=12, berat atom O=16, maka CO₂/C = (12+(16×2) / 12 atau 44/12 = 3,67



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan penelitian

Perancangan Model Penggunaan Lahan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Bahan Baku Biodiesel Kelapa Sawit

Penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan menggunakan Algoritma Genetika. Algoritma ini adalah suatu teknik pencarian yang berbasis pada teknik seleksi alam dan genetika. Cara kerjanya yaitu dengan meniru proses evolusi dan perubahan struktur genetik pada makhluk hidup. Analisis spasial menggunakan peta tahun 2011 yang terdiri dari Peta Penggunaan Lahan, Peta Moratorium PIPB Rev 4 dan Peta Kebun Kelapa Sawit. Peta hasil *overlay* disajikan dalam bentuk matriks. Model yang dibangun dikembangkan untuk wilayah Kabupaten Rokan Hilir dengan luas 895.329 ha. Pemilihan Kabupaten ini dengan pertimbangan bahwa di Propinsi Riau, kabupaten ini dapat mewakili setiap tutupan lahan yang telah diidentifikasi dan luas lahan untuk pengembangan kebun kelapa sawit masih tersedia.

Proses yang dilakukan dalam Algoritma Genetika yaitu:

1. Inisialisasi populasi untuk membangkitkan populasi awal secara acak.
2. Fungsi kendala adalah pengembangan fungsi *fitness* yang digunakan untuk menghitung Z dan harus memenuhi fungsi kendala.
3. Elitisme adalah fungsi untuk menyimpan kromosom yang mempunyai nilai kebugaran (*fitness*) yang tinggi, yang bertujuan agar kromosom tidak akan rusak oleh mutasi dan pindah silang yang terjadi pada proses selanjutnya.
4. Seleksi adalah fungsi untuk menyeleksi kromosom, mengalami perubahan dari sebelumnya melalui seleksi cakram (*roulette wheel selection*).
5. Pindah silang adalah fungsi untuk memperoleh nilai *fitness* yang tinggi dengan cara saling menukarkan kromosom di dalam suatu individu.

Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi dilakukan untuk membentuk sejumlah populasi yang terdiri dari individu atau kromosom. Kromosom yang digunakan dalam bentuk simbol karakter sebanyak 24 buah yang terdiri Br, Hp, Hs, Hmp, Hms, Hrp, Hrs, Ht, Plb, Pk, Pm, Pt, Pc, Rw, Sw, B, S, TM, T, Tr, A, M, Po dan 0. Dalam proses GA diganti initial huruf ini diganti menjadi kode dalam bentuk angka. Ukuran kromosom berbentuk matrik 13 x 13 sehingga 1 kromosom terdiri dari 169 gen. Setiap kode gen memiliki nilai atau angka default karbon dan setiap 1 sel memiliki ukuran luas lahan sebesar 4 ha.

Fungsi Fitness

Fungsi ini merupakan fungsi untuk melakukan evaluasi kromosom berdasarkan fungsi tujuan yaitu meminimumkan emisi CO₂ yaitu:

$$\text{Min} \sum_{u=1}^U \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{u,m,n} \cdot E_{u,m,n} \dots\dots\dots (4)$$

$$E_{u,m,n} = 3,67 \times \Delta C_{u,m,n} \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta C_{u,m,n} = \sum 4 \cdot X_{u,m,n} \cdot C_{(ta)u,m,n} - \sum 4 \cdot X_{u,m,n} \cdot C_{(po)u,m,n} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

- U : tipe jenis lahan
- M : jumlah baris
- N : jumlah kolom
- X_{u,m,n} : 1, jika peristiwa dapat ditanami kelapa sawit (m,n) dan 0, sebaliknya
- E_{u,m,n} : Emisi CO₂ pada m lahan n (ton/ha)
- ΔC_{u,m,n} : Selisih nilai kandungan karbon pada m lahan n (ton C/tahun)
- 3,67 : Konstanta lahan
- 4 ha : luas 1 kotak
- C_{ta} : Total nilai karbon stok pada lahan awal (ton C/tahun)
- C_{po} : Total nilai karbon stok pada lahan baru yang ditanami kelapa sawit (ton C/tahun)

Fungsi tujuan ini menunjukkan emisi CO₂ dari perubahan penggunaan lahan yang diminimumkan. Emisi CO₂ adalah total kandungan karbon awal dikurangi total kandungan karbon lahan akhir dikali dengan konstanta 3,67. Dengan kendala sebagai berikut:

$$X_{m,n} = 169 \text{ grid}$$

$$A, R_w, S_w, 0, P_l b, P_m, T_r, T_b, M \notin P_o$$

Operator Seleksi

Seleksi bertujuan untuk memilih individu-individu yang akan mengalami pindah silang atau dikenal dengan istilah kromosom induk. Individu atau kromosom yang memiliki nilai *fitness* yang paling baik memiliki peluang yang lebih besar untuk menjadi kromosom induk dan tetap bertahan pada generasi berikutnya, sedangkan kromosom yang lebih buruk akan tergantikan oleh kromosom baru.

Teknik seleksi yang digunakan adalah menggunakan teknik seleksi cakram (*roulette wheel selection*). Masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* sesuai dengan nilai *fitness*nya secara proporsional. Kromosom dengan nilai *fitness* terbesar menempati potongan lingkaran lebih besar dari kromosom dengan nilai *fitness* yang rendah. Untuk menghasilkan sejumlah populasi maka *roulette* diputar sebanyak ukuran populasi yang ada.

Operator Pindah Silang

Pindah silang dilakukan atas 2 kromosom untuk menghasilkan kromosom baru (kromosom

anak). Kromosom anak yang terbentuk akan mewarisi sebagai sifat kromosom induknya. Dalam proses pindah silang parameter penting yang harus diperhatikan adalah probabilitas pindah silang. Probabilitas pindah silang menunjukkan presentase jumlah kromosom induk yang mengalami pindah silang dan menghasilkan keturunan baru atau kromosom anak.

Operator Mutasi

Mutasi adalah suatu proses eksploitasi terhadap kemungkinan-kemungkinan modifikasi pada hasil yang telah ada. Pada proses mutasi dilakukan dengan menentukan keturunan baru yang dipilih secara random dari sejumlah populasi. Kemudian kromosom yang terpilih akan dipilih secara acak pada posisi gen yang akan dimutasi. Setelah terpilih gen pada salah satu kromosom kemudian dimutasi dengan mengacak lagi nilai gen yang telah diperoleh. Pada proses mutasi ini sama dengan pada proses pindah silang, dimana mutasi yang terjadi tergantung pada nilai probabilitas mutasinya. Probabilitas mutasi menunjukkan presentase jumlah kromosom yang terkena mutasi. Penentuan nilai probabilitasnya tergantung pada permasalahan yang dicari optimalnya. Pada kasus ini, jika mutasi terjadi maka gen yang digantikan tidak boleh dari jenis M, Hp, Pm, Tb, Po, Plb, Pm, A, Tr, Sw dan Rw.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Kebun Kelapa Sawit

Hasil identifikasi lahan awal untuk konversi kebun kelapa sawit di Kabupaten Rokan Hilir disajikan pada Tabel 1. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa kelapa sawit pada tahun 2009 dan tahun 2011 ditanam pada tipe tutupan lahan: belukar rawa, hutan mangrove sekunder, hutan rawa primer, perkebunan, pertambangan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campuran, rawa, semak/belukar tanah terbuka. Luas lahan kelapa sawit pada tahun 2009 di Kabupaten Rokan Hilir sebesar 125.307 ha dan tahun 2011 seluas 136.216 ha atau terdapat penambahan luasan sebesar 10.909 ha. Pada Tahun 2009 Luas Lahan kelapa sawit terbesar terdapat pada lahan perkebunan seluas 70.020 ha dan pada tahun 2011 tidak terjadi penambahan dari tipe perkebunan. Tanaman kelapa sawit lainnya yang ditanam pada daerah yang memiliki nilai karbon stok tinggi (>100 ton C/tahun) yaitu pada lahan hutan mangrove sekunder dan hutan rawa primer–masing sebesar 367 ha dan 6.630 ha. Pada tahun 2011 luasan untuk lahan hutan mangrove sekunder tidak mengalami perubahan sedangkan hutan rawa primer bertambah sebesar 1.675 ha.

Tabel 1. Hasil identifikasi tipe tutupan lahan dan konversi lahan menjadi kebun kelapa sawit Kabupaten Rokan Hilir Propinsi Riau

Penutupan Lahan		Luas Lahan Kelapa Sawit (ha)	
		2009	2011
Belukar rawa	Br	22.518	27.976
Hutan lahan kering primer	Hp	0	0
Hutan lahan kering sekunder	Hs	0	0
Hutan mangrove primer	Hmp	0	0
Hutan mangrove sekunder	Hms	367	367
Hutan rawa primer	Hrp	6.630	8.305
Hutan rawa sekunder	Hrs	0	0
Hutan tanaman	Ht	0	0
Pelabuhan Udara/Laut	Plb	0	0
Perkebunan	Pk	70.020	70.020
Permukiman	Pm	0	0
Pertambangan	Tb	238	238
Pertanian lahan kering	Pt	6.492	6.492
Pertanian lahan kering campuran	Pc	15.200	17.435
Rawa	Rw	96	96
Sawah	Sw	0	0
Semak/belukar	B	671	671
Savana	S	0	0
Tambak	Tm	0	0
Tanah terbuka	T	3.075	4.616
Transmigrasi	Tr	0	0
Tubuh air	A	0	0
Total		125.307	136.216

Sumber: Hasil interpretasi peta PL 2009-2011 dan peta kebun kelapa sawit tahun 2009-2011

Tanaman kelapa sawit yang ditanam pada daerah yang memiliki nilai karbon stok dibawah 100 ton C/tahun yaitu terdapat pada jenis belukar rawa, perkebunan, pertambangan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campuran, rawa, semak belukar dan tanah terbuka. Perubahan penggunaan lahan atau konversi menjadi kelapa sawit berpengaruh terhadap nilai kandungan karbon tanaman. Kelapa sawit yang ditanam pada daerah yang memiliki nilai kandungan karbon yang lebih besar dari nilai kandungan karbon kelapa sawit akan mengakibatkan terjadinya emisi atau kehilangan kandungan karbon pada biomassa tumbuhan. Kelapa sawit yang ditanam di daerah dengan nilai kandungan karbon lebih kecil dari kelapa sawit berakibat pada peningkatan serapan karbon (*karbon sequestration*).

Emisi Gas CO₂ Akibat Penggunaan Lahan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Kelapa Sawit

Nilai kandungan karbon tahun 2009, untuk luasan lahan jika tidak dikonversi dengan kelapa sawit maka nilai kandungan karbonnya sebesar 6,97 Mt C/tahun dan dengan perubahan penggunaan lahan menjadi kelapa sawit maka kandungan karbonnya bernilai 6,18 MtC/tahun (Tabel 2). Hal ini berarti bahwa dengan konversi lahan menjadi kelapa sawit mengakibatkan terjadinya kehilangan karbon dari biomassa tanaman awal sebesar 0,79

MtC/tahun. Nilai kandungan karbon Tahun 2011 pada penggunaan lahan awal sebesar 7,52 MtC/tahun dan nilai stok dengan perubahan penggunaan lahan menjadi kelapa sawit sebesar 6,72 Mt C/ha. Dengan demikian terjadi kehilangan karbon sebesar 29.777 ton CO₂e/tahun (Tabel 3).

Emisi terjadi karena hilangnya kandungan karbon dari biomassa pada penggunaan lahan awal yang lebih besar dari tanaman kelapa sawit yang menggantikannya. Emisi terbesar ditemukan pada jenis hutan rawa primer sebesar 0,029 Mt/tahun. Sedangkan daerah lainnya justru meningkatkan serapan karbon atau menyebabkan terjadinya pengurangan emisi yang terdapat pada jenis belukar rawa sebesar 0,013 Mt/ha/tahun, pertanian lahan kering campuran sebesar 0,052 Mt/ha/tahun dan tanah terbuka sebesar 0,087 Mt/ha/tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa penanaman kelapa sawit di Kabupaten Rokan Hilir sejalan dengan pelarangan untuk membuka kebun kelapa sawit dilahan yang merupakan jenis lahan yang memiliki kandungan karbon tinggi (*High Carbon Stock*) seperti lahan gambut, hutan primer dan hutan hujan dengan curah hujan tinggi-rendah. Pembukaan lahan pada wilayah HCS untuk perkebunan atau pertanian akan memproduksi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer jauh lebih tinggi daripada kawasan non HCS, sedangkan jika pembukaan pada lahan dengan cadangan C rendah maka akan terjadi peningkatan serapan CO₂ (Agus *et al.*, 2013).

Tabel 3. Perubahan nilai kandungan karbon dan emisi CO₂

Penutupan Lahan		Perubahan Karbon (ton C)		Emisi CO ₂ (ton/ thn)
		2009	2011	
Belukar rawa (Br)	Br	-435.948	-541.615	-128.561
Hutan lahan kering primer (Hp)	Hp	-	-	-
Hutan lahan kering sekunder (Hs)	Hs	-	-	-
Hutan mangrove primer (Hmp)	Hmp	-	-	-
Hutan mangrove sekunder (Hms)	Hms	25.925	25.925	-
Hutan rawa primer	Hrp	972.223	1.217.845	298.840
Hutan rawa sekunder	Hrs	-	-	-
Hutan tanaman	Ht	-	-	-
Pelabuhan Udara/Laut	Plb	-	-	-
Perkebunan	Pk	955.073	955.073	-
Permukiman	Pm	-	-	-
Pertambangan	Tb	-11.748	-11.748	-
Pertanian lahan kering	Pt	-255.525	-255.525	-
Pertanian lahan kering campuran	Pc	-294.272	-337.542	-52.645
Rawa	Rw	-4.547	-4.547	-
Sawah	Sw	-	-	-
Semak/Belukar	B	-12.991	-12.991	-
Savana	S	-	-	-
Tambak	Tm	-	-	-
Tanah terbuka	T	-144.095	-216.306	-87.857
Transmigrasi	Tr	-	-	-
Tubuh air	A	-	-	-
Total		794.096	818.570	29.777

Ket: nilai (+) berarti emisi yang dilepaskan dan nilai (-) berarti penyerapan karbon

Nilai emisi di Kabupaten Rokan Hilir pada Tabel 3 adalah merupakan nilai selisih karbon tahun 2011 dan 2009 sebesar 0,96 Mt CO₂/ha/tahun. Jika hasil nilai emisi ini dibandingkan dengan hasil penelitian Agus *et al.* (2013) mengenai perubahan hutan sekunder menjadi lahan pertanian campuran termasuk perkebunan yaitu sebesar 33 Mt CO₂e/tahun, maka nilai emisi yang ditimbulkan oleh karena konversi lahan menjadi kelapa sawit jauh lebih kecil. Sumber utama emisi di Rokan Hilir yaitu pada hutan rawa primer sebesar 0,29 Mt CO₂/tahun, sedangkan dengan kehadiran tanaman kelapa sawit telah mampu meningkatkan kandungan karbon untuk kelapa sawit yang ditanam pada jenis lahan belukar rawa sebesar 0,60 ton CO₂/tahun, pertanian lahan kering campuran sebesar 326.291 ton CO₂/tahun dan tanah terbuka sebesar 150.594 ton CO₂/tahun.

Model Penggunaan Lahan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Bahan Baku Biodiesel Kelapa Sawit.

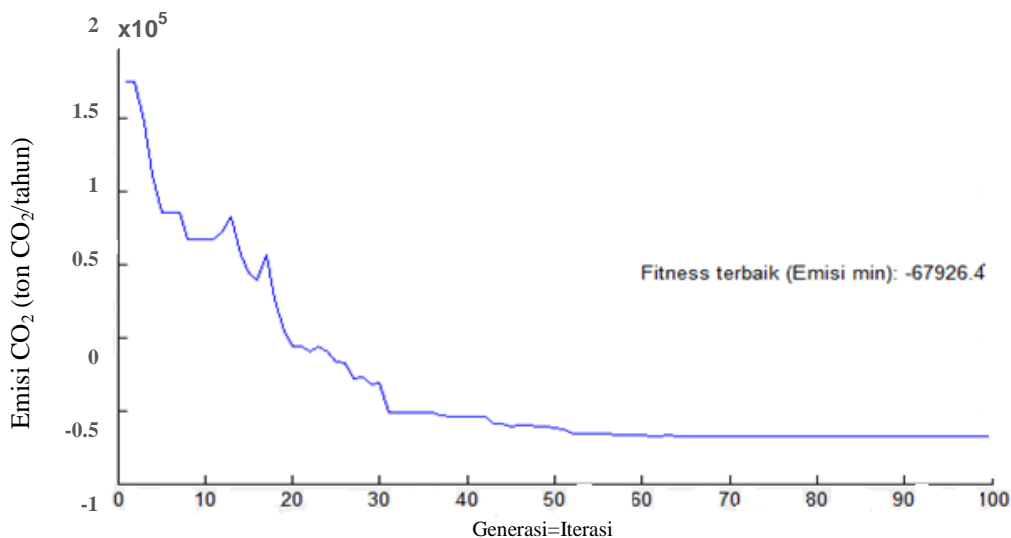
Hasil pengujian dengan menggunakan algoritma genetika menghasilkan nilai *fitness* minimum atau emisi CO₂ yang minimum ditunjukkan pada Gambar 3. Pada grafik tersebut menggunakan peluang kromosom (Pc) = 0,95, peluang mutasi = 0,01, jumlah generasi 100 generasi, ukuran lahan 169 (matriks 13x13 = 676 ha) dan ukuran populasi 100.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai *fitness* terbaik mulai tercapai pada generasi 46. Keadaan ini memperlihatkan bahwa dalam hal *fitnessnya* sudah homogen dan bertahan sampai pada generasi ke 100. Solusi ini dihasilkan dengan waktu 0:44 detik. Nilai *fitness* atau nilai emisi CO₂ minimum yang bernilai negatif yang dihasilkan, menandakan terjadinya

sekuestrasi karbon sebesar 0,035 Mt CO₂e/ha pada luas lahan 169 grid. Hal ini berarti bahwa jika lahan seluas 169 grid x 4 ha tersebut dibuka menjadi perkebunan kelapa sawit maka akan terjadi serapan karbon sebesar 0,035 Mt yang menandakan bahwa diperoleh emisi CO₂ yang minimum. Nilai emisi tersebut diperoleh dari solusi terbaik dengan matriks lahan 13 x 13 (Tabel 3).

Pada Tabel 3 ditampilkan output matriks jenis lahan yang dapat menghasilkan nilai emisi yang minimum dengan konversi lahan menjadi kebun kelapa sawit. Matriks souisi lahan dengan gen berukuran 13 x 13 berarti bahwa tanaman kelapa sawit untuk keperluan bahan baku biodiesel kelapa sawit dengan luasan 676 ha ditanam pada 68 gen tanah terbuka (T) dengan luasan 27 ha, 9 gen pertanian lahan kering (Pt) dengan luasan 36 ha, 8 gen perkebunan (Pk) dengan luasan 32 ha, 38 gen semak/belukar (B) dengan luasan 152 ha, 41 gen belukar rawa (Br) dengan luasan 164 ha, 2 gen pertanian lahan kering campuran (Pc) dengan luasan 8 ha, 1 gen hutan rawa primer (Hrp) dengan luasan 4 ha, 1 gen hutan rawa sekunder (Hrs) dengan luasan 4 ha dan 1 gen hutan sekunder (Hs) dengan luasan 4 ha.

Pada matriks tersebut terlihat bahwa jenis lahan yang menjadi solusi dari optimasi algoritma genetika yaitu lahan-lahan yang memiliki nilai karbon rendah. Hal ini menunjukkan bahwa jika kelapa sawit akan ditanam pada lahan-lahan tersebut, maka akan memberikan peningkatan serapan karbon dibandingkan dengan jenis vegetasi pada lahan yang ada sebelumnya. Hal ini pula dapat mendukung rencana pemerintah dalam hal penurunan emisi sebesar 26% dari sektor penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan yang tepat.



Gambar 3 Hasil running program GA dengan Nilai Pc= 0,95, Pm = 0,01, Generasi=100, ukuran lahan 169 dan jumlah populasi =100.

Tabel 3. Solusi matriks lahan hasil running program algoritma genetika dengan ukuran matriks 13 x 13

T	Pk	B	Hs	B	T	Br	Br	Br	T	T	B	Hrp
T	Pk	B	Hrs	B	T	Br	Br	Br	T	T	B	T
T	Pk	B	Br	B	T	Br	Br	Br	T	T	B	T
T	Pk	B	Br	B	T	Br	Br	Br	T	T	T	T
T	Pt	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
T	Pt	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
T	Pt	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
T	Pt	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
T	Pt	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
Pt	Pk	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
Pt	Pk	B	Br	B	T	Br	Br	B	T	T	T	T
Pt	Pk	B	Br	B	Pc	Br	Br	B	T	T	T	T
Pt	Pk	B	Br	B	Pc	Br	Br	B	T	T	T	T

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa emisi yang ditimbulkan akibat penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Rokan Hilir sebesar 0,096 Mt CO₂e/tahun. Dengan menggunakan algoritma genetika diperoleh solusi matriks lahan yang terdiri dari: 68 gen tanah terbuka (T) dengan luasan 27 ha, 9 gen pertanian lahan kering (Pt) dengan luasan 36 ha, 8 gen perkebunan (Pk) dengan luasan 32 ha, 38 gen semak/belukar (B) dengan luasan 152 ha, 41 gen belukar rawa (Br) dengan luasan 164 ha, 2 gen pertanian lahan kering campuran (Pc) dengan luasan 8 ha, 1 gen hutan rawa primer (Hrp) dengan luasan 4 ha, 1 gen hutan rawa sekunder (Hrs) dengan luasan 4 ha dan 1 gen hutan sekunder (Hs) dengan luasan 4 ha.

Solusi yang diperoleh menghasilkan emisi yang minimum sebesar -0,067 Mt CO₂e/tahun atau nilai sekuestrasi karbon sebesar 0,067. Nilai emisi minimum ini tercapai pada generasi ke 48 dengan menggunakan peluang pindah silang (Ps) =0,95, Peluang mutasi (Pm)=0,01, generasi, 100, populasi =100 dan ukuran lahan= 169.

Saran

Perlu dikembangkan satu proses kerja yang lebih praktis dimana proses pembuatan grid di dalam peta dapat dilakukan tanpa melalui proses tabulasi manual. Hal ini dimungkinkan untuk dilakukan melalui proses kodifikasi jenis-jenis tutupan lahan berdasarkan gradasi warna di dalam peta.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah AZ, Salamatinia B, Mootabadi H, Bhatia S. 2009. Current status and policies on biodiesel industry in Malaysia as the

world's leading producer of palm oil. *J Energy Policy*. 37:5440-5448.

Agus F, Santosa I, Dewi P, Setyanto P, Thamarin S, Wulan YC, Suryaningrum F. 2013. *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku 1 Landasan Ilmiah*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia. Jakarta.

Arkeman Y, Seminar KB, dan Gunawan H. 2012. *Algoritma Genetika. Teori dan Aplikasinya untuk Bisnis dan Industri*. PT Penerbit IPB Press. Bogor.

Castiblanco C, Etter A, dan Ramirez A. 2015. Impact of palm oil expansion in Colombia: What do socioeconomic indicators show? *J Land Use Pol*. 44:31-43.

Cao K, Huang B, Wang S, Lin H. 2011. Sustainable land use optimization using boundary-based fast genetic algorithm. *J Comp Env Urban Sys*. 36: 257-269.

Chen J, Zhang X, Zhu Q. 2012. Multi-objective decision making for land use planning with ordered weighted averaging Method. *J Syst Eng Procedia*. 2: 434-440.

Dewi S, Ekadinata A, Galudra G, Agung P, Johan F. 2011. *Land use planning for low emission development strategy (LUWES)*. World Agroforestry Centre SEA Regional office, Bogor, Indonesia.

Fotakis DG, Sidiropoulos E, Myronidis D, Ioannou K. 2012. Spatial genetic algorithm for multi-objective forest planning. *J Forest Pol Econ*. 21: 12-19.

Gunarso P, Hartoyo ME, Agus F, Killen TJ. 2013. Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua Neu Guinea.

Gibbs HK, Johnston M, Foley JA, Holloway T, Monfreda C, Ramankutty N, Zaks D. 2008. Karbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects

- of changing yield and technology. *Environ Res Lett.* 3:03400.
- Hansen MC, Stehman SV, Potapov PV, Arunarwati B, Stolle FM, Pittman K. 2009. Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data sets. *Environ Res Lett.* 3:035006.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- Meher LC, Sagar DV, dan Naik SN. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A review. *Renew Sustain Energi Rev.* 10(3):248-268.
- Stewart TJ, Janssen R, dan Herwijnen MV. 2004. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning. *J Comp Opr Res.* 31: 2293-2313.
- Stewart TJ dan Janssen R. 2014. A multiobjective GIS-based land use planning algorithm. *J Comp Environ Urban Sys.* 46: 25-34.
- Wicke B, Dornburg V, Junginger M, Faaij A. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their green house gas implications. *J Biomass Bioen.* 32: 1322-1337.
- Wilcove DS dan Koh LP. 2010. Addressing the threats to biodiversity from oil-palm agriculture. *J Biodivers Conserv.* 19:1999-1007.