



Artikel Penelitian

## Model Optimasi Perancangan Jaringan Rantai Pasok Biomassa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit di Sumatera Barat

Febriza Imansuri<sup>1</sup>, Rika Ampuh Hadiguna<sup>2</sup>, Feri Afrinaldi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politeknik STMI, Jln. Letjend Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10510, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Sumatera Barat, Indonesia

### ARTICLE INFORMATION

Received: October 4, 17  
Revised: April, 19, 19  
Available online: May 15, 19

### KEYWORDS

Rantai pasok, biomassa, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), *Mixed Integer Linear Programming*

### CORRESPONDENCE

Phone: +6282174337216  
E-mail: febrizaimansuri@kemenperin.go.id

### A B S T R A C T

West Sumatra has great potential in developing biomass based on palm oil waste. This is because the largest plantation production in West Sumatra comes from the oil palm commodity of 1,082,820 tons in 2014. Therefore, it is necessary to design a model of supply chain biomass network for the distribution of Empty Fruit Bunches (EFB) from CPO factory suppliers located in West Sumatra and distributed to Depot Pertamina Teluk Kabung. Stages performed in the implementation of this study began with a preliminary study to determine the potential of biomass in West Sumatra. Furthermore, the design of chain supply chain optimization model by identifying supply chain activity, knowing the characteristics of supply chain system and make the formulation of mathematical model. The design of supply chain biomass from Empty Fruit Bunches (EFB) in West Sumatera, starting from raw material Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sourced from Crude Palm Oil (CPO) factory in West Pasaman Regency and surrounding. This is because Pasaman Barat Regency is the central agroindustry of oil palm plantation which has 17 most palm oil factories in West Sumatra. The potential of bioethanol derived from CPO waste can be done by establishing bioethanol plant located with the same CPO factory so that it is adjacent to the source of the raw material. The result of mathematical model mixed integer linear programming is placement of bioethanol plant location at PT Pasaman Marama Sejahtera with medium scale and total cost of IDR 251,563,700,000.00.

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki masalah ketidakseimbangan penggunaan energi primer dalam bauran energi. Sebagian besar bauran energi primer masih didominasi oleh minyak bumi yaitu sebesar 49,5 %, diikuti batubara (26 %), gas alam (20,4 %), tenaga air (2,1 %), panas bumi (1,2 %) dan energi terbarukan lainnya (0,9 %) [1]. Berdasarkan data kondisi bauran energi primer tersebut, pemanfaatan biomassa masih sangat rendah di Indonesia. Dalam rangka untuk menyeimbangkan bauran energi akhir dan alternatif pengganti minyak bumi sebagai penyumbang energi terbesar, pemerintah Indonesia telah menetapkan bahwa pada tahun 2025 biomassa diharapkan dapat memberikan kontribusi setidaknya 5% dari energi *mix* nasional [2]. Selain itu mengingat harga bahan bakar fosil yang semakin sulit dan mahal, sumber energi biomassa akan menjadi salah satu alternatif karena termasuk bahan bakar yang bersih, proses produksi yang ramah lingkungan, dan juga dapat menyerap tenaga kerja di daerah yang sangat besar sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat [3].

Salah satu pemanfaatan sumber daya biomassa adalah dengan mengkonversikannya menjadi biofuel seperti bioetanol dan biodiesel. Sumber energi biomassa dapat diperoleh dari sektor kehutanan, sektor perkebunan, sektor pertanian dan limbah pemukiman [3]. Dari sektor perkebunan, salah satu sumber daya biomassa yang mempunyai peran cukup penting dalam kegiatan perekonomian Indonesia adalah perkebunan kelapa sawit.

Dalam pengolahan TBS menjadi minyak kelapa sawit CPO, dihasilkan limbah berupa cangkang, serabut dan TKKS. Setiap pengolahan satu ton TBS akan dihasilkan TKKS sebanyak 22-23 % (220-230 kg) dan cangkang serta serabut sekitar 19 % (190 kg) [4]. Cangkang dan serabut sebagian kecil digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap pada pembangkit tenaga listrik (*captive power*). Sedangkan TKKS belum banyak dimanfaatkan, hanya sebagian kecil yang dikembalikan ke kebun sebagai pupuk organik [5].

TKKS merupakan biomassa yang dapat dikonversikan menjadi bioetanol generasi kedua yang bersumber dari limbah biomassa [6]. Satu pabrik kelapa sawit dengan kapasitas produksi 60 ton TBS per jam, dengan jumlah jam operasi 20 jam per hari atau 300 hari per tahun akan menghasilkan TKKS sebesar 300 ton per hari

atau sebesar 90.000 ton per tahun, dan berpotensi untuk menghasilkan bioetanol sebesar 45.300 liter per hari atau 13,95 juta liter per tahun [7].

Sumatera Barat memiliki potensi yang besar dalam pengembangan biomassa berbahan dasar limbah kelapa sawit. Hal ini dikarenakan produksi perkebunan terbesar di Sumatera Barat berasal dari komoditas kelapa sawit yaitu sebesar 1.082.820 ton pada tahun 2014. Kabupaten Pasaman Barat merupakan salah satu daerah agroindustri perkebunan di Sumatera Barat. Perkebunan kelapa sawit merupakan komoditas terbesar di Kabupaten Pasaman Barat dengan luas areal sebesar 154.067,18 Ha serta memiliki 14 pabrik CPO yang memiliki potensi biomassa dari TKKS sebesar 3.425 ton/hari dan berpotensi untuk menghasilkan bioetanol sebesar 517.175 liter/hari [8]. Hal ini menunjukkan bahwa Sumatera Barat memiliki potensi dalam memproduksi biomassa dari TKKS yang dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar minyak.

Meskipun penggunaan energi biomassa memiliki banyak keuntungan, namun faktanya potensi biomassa yang bersumber dari limbah perkebunan seperti TKKS tersebut belum dimanfaatkan secara optimal di Sumatera Barat. Oleh karena itu, agar dapat memanfaatkan potensi tersebut diperlukan perancangan rantai pasok biomassa dari TKKS. Pada perancangan rantai pasok penentuan lokasi fasilitas produksi serta penentuan alokasi ke masing-masing entitas pada rantai pasok harus diperhitungkan karena merupakan keputusan jangka panjang.

### **Biomassa**

Biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung yang kemudian dimanfaatkan sebagai energi dalam jumlah yang besar [3]. Biomassa tidak mencakup materi organik yang telah tertransformasi oleh proses geologis menjadi zat baru seperti batubara atau minyak bumi.

Sumber biomassa dibagi atas empat kelompok diantaranya [9]:

#### 1. Limbah

Limbah yang menjadi salah satu sumber biomassa dapat diperoleh dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah industri kehutanan, serta limbah organik dari pemukiman atau perkotaan. Beragam produk limbah pertanian yang dapat diperoleh dan dimanfaatkan sebagai sumber biomassa, terutama limbah yang terjadi pada proses pasca panen dan proses pengolahan hasil panen di pabrik pengolahan. Pada perkebunan, limbah juga akan terjadi di saat panen namun akan lebih besar jumlahnya pada saat pengolahan panen di pabrik. Limbah juga terjadi pada perkebunan yang harus melakukan penanaman kembali untuk mencapai produksi optimumnya. Pada perkebunan kelapa sawit, misalnya, limbah dari lapangan hanya berupa guguran daun dan pelepah tua atau penggantian pohon sawit tua. Namun jumlah dan ragam limbah akan bertambah pada saat pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit. Limbah yang dihasilkan dari PKS adalah tandan kosong (22- 24%), serabut (12-14%), cangkang sawit (5-8%), serta limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebesar 50% untuk setiap ton TBS yang diolah pabrik kelapa sawit

#### 2. Produk Kehutanan

2 Imansuri et al.

Biomassa kehutanan dapat dibagi menjadi tiga sumber penting yaitu serasah hutan, limbah penebangan, dan limbah industri kayu hutan.

#### 3. Tanaman Energi

Tanaman yang khusus dibudidayakan dan didedikasikan khusus untuk bahan baku energi sebagai prioritas pertama, kemudian untuk penyediaan pangan sebagai prioritas kedua. Tanaman ini antara lain singkong tahunan, jagung atau tebu yang ditanam khusus untuk pembuatan etanol. Tanaman yang digunakan untuk biooil seperti jarak.

#### 4. Tanaman Akuatik

Tanaman yang tumbuh pada habitat berair seperti air tawar atau di laut dan khusus diambil manfaatnya sebagai bahan baku biomassa. Contoh komoditi ini adalah algae dan eceng gondok.

### **Manajemen Rantai Pasok**

Manajemen rantai pasok merupakan integrasi yang dilakukan melalui pendekatan lintas fungsional dengan mengelola aliran bahan baku masuk ke pabrik untuk diolah dan aliran produk jadi keluar perusahaan sampai diterima konsumen berdasarkan informasi dan umpan balik [10]. Rantai pasok tidak hanya melibatkan *manufacturer* dan *supplier*, tetapi juga melibatkan transportasi, gudang, pengecer, bahkan konsumen sendiri.

Dalam konsep rantai pasok dikenal tiga macam aliran yang harus ada dan dikelola, tiga macam aliran tersebut adalah:

#### 1. Aliran material

Aliran material merupakan suatu aliran yang mengalir dari hulu ke hilir. Aliran material terdiri dari aliran fisik produk dari pemasok ke pelanggan, aliran pengembalian produk dari pelanggan ke pemasok, produk perbaikan, produk daur ulang dan produk disposal.

#### 2. Aliran finansial

Aliran finansial merupakan suatu aliran yang mengalir dari hilir ke hulu rantai pasok. Aliran finansial ini meliputi informasi kartu kredit dan jadwal pembayaran.

#### 3. Aliran informasi

Aliran informasi merupakan aliran rantai pasok yang mengalir dari hulu ke hilir ataupun sebaliknya. Aliran informasi ini meliputi peramalan permintaan, transmisi *order*.

### **Model Optimasi Jaringan Rantai Pasok**

Program linear merupakan suatu cara untuk menyelesaikan persoalan pengalokasian sumber daya yang terbatas diantara beberapa aktivitas yang bersaing. Jika persyaratan nilai-nilai bilangan *integer* atau bulat merupakan satu-satunya bentuk penyimpangan suatu masalah dari perumusan pemrograman linear, maka masalah tersebut dinamakan pemrograman bilangan bulat (*integer programming*). Namun jika hanya beberapa peubah yang diperlukan bernilai bulat, maka model ini dinamakan dengan pemrograman bilangan bulat campuran (*mixed integer programming*). Jika semua peubah harus bernilai bulat, maka disebut dengan pemrograman bilangan bulat murni (*pure integer programming*) [11].

Model pemrograman bulat digunakan untuk memecahkan masalah dengan jawaban ya atau tidak (1 dan 0), jadi keputusan ya atau tidak diwakili oleh variabel [11], sehingga  $x_j$  menjadi:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{jika keputusan ke-}j \text{ adalah "ya"} \\ 0, & \text{jika keputusan ke-}j \text{ adalah "tidak"} \end{cases} \quad (1)$$

(j = 1, 2, 3)

Model ini seringkali disebut sebagai model pemrograman bulat biner atau *binary integer programming*. Model ini digunakan untuk memilih suatu keputusan pembukaan lokasi baru. Pada model yang dikembangkan, variabel keputusan akan bernilai 1 jika adanya pembukaan lokasi, dan nilai 0 jika tidak.

Model lokasi alokasi yang digunakan pada penelitian ini adalah suatu model yang bertujuan untuk menentukan lokasi pendirian pabrik bioetanol dari TKKS yang bersumber dari pabrik kelapa sawit dan alokasi output bioetanol kepada konsumen akhir. Persamaan dasar model *Mixed Integer Programming* (MIP) adalah [11]:

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{j=1}^n (c_j x_j + k_j y_j) \quad (2)$$

dengan

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{jika } x_j > 0 \\ 0, & \text{jika } x_j = 0 \end{cases}$$

Notasi  $x_j$  menyatakan tingkat kegiatan  $j$  ( $x_j > 0$ ),  $k$  menyatakan biaya tetap dan  $c_j$  menyatakan koefisien dari  $x_j$ . Jika  $x_j$  juga dibatasi menjadi integer maka permasalahan model menjadi pure integer programming. Setiap keputusan “ya atau tidak” dinyatakan dengan variabel biner  $y_j$ . Variabel  $y_j$  akan bernilai 1 jika lokasi ke- $j$  dibuka, dan sebaliknya bernilai 0 jika lokasi tidak dibuka. Misalkan  $M$  adalah bilangan positif yang sangat besar yang melampaui  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Maka kendala-kendala:

$$x_j \leq M y_j \quad \text{untuk } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_j - M y_j \leq 0 \quad (3)$$

dan

$$y_j \text{ variabel biner, untuk } j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_j \geq 0 \quad (5)$$

**Perkembangan Model Optimasi Jaringan Rantai Pasok Biomassa**

Perkembangan model optimasi jaringan rantai pasok biomassa terbagi atas jenis variabel keputusan, ruang lingkup fungsi tujuan dan metode penyelesaian. Penelitian ini akan membahas mengenai rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat dengan fungsi tujuan minimasi total biaya rantai pasok diantaranya biaya investasi, biaya operasional dan biaya transportasi. Horizon perencanaan didalam penelitian ini adalah *strategic decision* dimana model memiliki fokus penelitian jangka panjang terhadap lokasi dan kapasitas *biorefineries*. Penyelesaian model dilakukan dengan menggunakan metode pemograman matematis yaitu *mixed integer programming* karena model menggunakan sebuah keputusan pembukaan lokasi baru. Pada model yang dikembangkan variabel keputusan akan bernilai 1 jika adanya pembukaan lokasi, dan nilai 0 jika tidak. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan perancangan rantai pasok biomassa dapat dilihat pada Tabel 1.

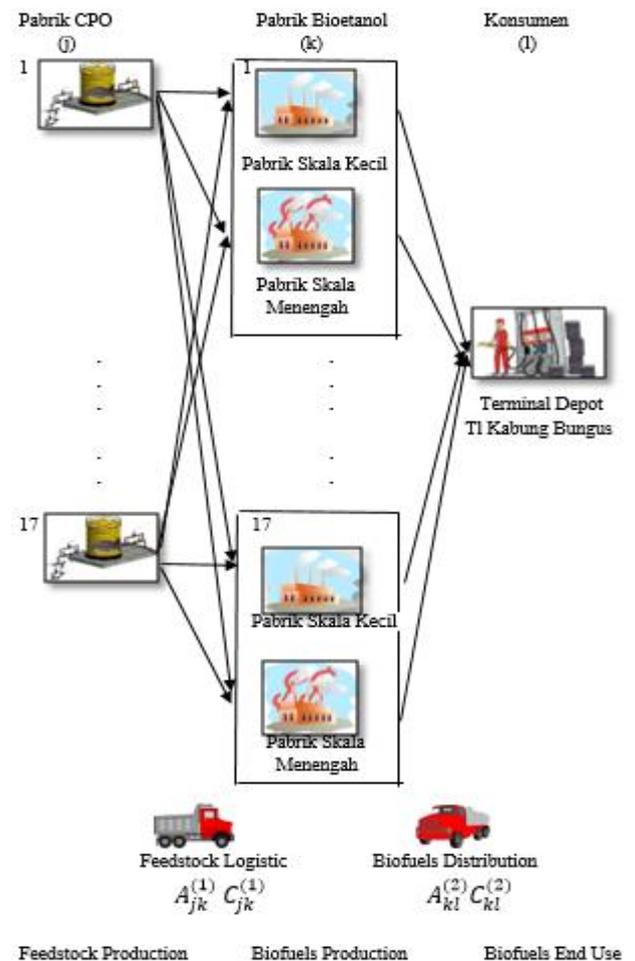
**METODE**

**Studi Pendahuluan**

Studi pendahuluan dilakukan dua tahap, tahap pertama yaitu studi lapangan dan studi literatur. Studi lapangan dilakukan dengan observasi langsung potensi perkebunan kelapa sawit di Sumatera Barat. Sedangkan studi literatur dilakukan dengan mencari bahan literatur dari berbagai sumber mengenai kelapa sawit, biomassa, manajemen rantai pasok, dan model optimasi jaringan rantai pasok. Survei pendahuluan dilakukan dengan mengetahui potensi produksi kelapa sawit, perusahaan perkebunan pengolahan kelapa sawit, proyeksi jumlah TKKS, proses produksi bioetanol dari TKKS, permintaan bahan bakar minyak serta mengenal peta wilayah Sumatera Barat.

**Perancangan Model Jaringan Rantai Pasok**

Perancangan model optimasi jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut: (1) Mengidentifikasi aktivitas sistem rantai pasok biomassa; (2) Mengetahui Karakteristik sistem rantai pasok biomassa; (3) Membuat formulasi model matematika rantai pasok. Gambaran sistem rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Rantai Pasok Biomassa

Tabel 1. Penelitian yang Berhubungan dengan Rantai Pasok Biomassa

	Fungsi Tujuan				Tingkatan Pengambil Keputusan		Metode Penyelesaian					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Eksioglu, <i>et al.</i> [12]	√				√			√				
Vera, <i>et al.</i> [13]			√		√				√			
Čuček, <i>et al.</i> [14]				√	√					√		
Kim, <i>et al.</i> [15]		√			√			√				√
Marvin, <i>et al.</i> [16]			√		√			√				
Zhang dan Hu [17]	√				√		√	√				
Sharma, <i>et al.</i> [18]	√				√	√		√				
Bernardi, <i>et al.</i> [19]				√	√			√				
Paulo, <i>et al.</i> [20]	√				√			√				
Grigoroudis, <i>et al.</i> [21]	√				√			√				
Roni, <i>et al.</i> [22]	√				√			√				
Mohseni, <i>et al.</i> [23]	√				√						√	
Jonrinaldi, <i>et al.</i> [24]	√						√	√				
Penelitian ini	√				√		√	√				

Keterangan:

A: Minimasi Total Biaya

B: Maksimasi Total Profit

C: Maksimasi Net Present Value

D: Multiple Objective

E: Strategic Decision

F: Tactical Decision

G: Operational Decision

H: Pemograman Matematis

I: Heuristik

J: MCDA

K: GIS

L: Simulasi

### Karakteristik Sistem

Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Perkebunan Pasaman Barat Tahun 2015, perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Pasaman Barat dan Kabupaten Agam memiliki luas areal 154.067,18 Ha terdiri atas perkebunan rakyat, perkebunan besar negara dan perkebunan besar swasta nasional. Hasil panen perkebunan kelapa sawit berupa TBS yang nantinya akan didistribusikan ke pabrik CPO untuk diolah. Hasil pengolahan CPO akan menghasilkan limbah kelapa sawit diantaranya cangkang, serabut dan TKKS. Oleh karena TKKS belum banyak dimanfaatkan, maka TKKS dapat dimanfaatkan menjadi bahan campuran BBM berupa bioetanol yang nantinya akan didistribusikan kepada konsumen.

Menurut Direktorat Pemasaran dan Penjualan PT Pertamina pada tahun 2011, biopremium dan biopertamax pertama kali dipasarkan oleh Pertamina pada tahun 2006 dengan perbandingan campuran 95% premium atau pertamax dan 5% bioetanol. Namun, pada tahun 2010 Pertamina tidak mendistribusikan *biopremium* dan *biopertamax* karena tidak adanya *supply* bioetanol ke Pertamina. Hal ini disebabkan mahalnya harga bahan baku bioetanol yang harus bersaing dengan kebutuhan pangan serta terbentur penggunaan lahan yang luas untuk tanaman pangan tersebut sehingga mengakibatkan harga bioetanol di atas harga *index* pasar bahan bakar nabati yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai Keputusan Menteri ESDM No. 0219 K/12/MEM/2010. Oleh karena Indonesia kaya akan potensi sumber daya biomassa yang berasal dari sektor perkebunan, maka limbah biomassa dari sektor perkebunan yaitu TKKS dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku bioetanol.

Penelitian mengenai bahan bakar nabati dari biomassa generasi kedua di Indonesia telah mencapai tahap pilot plant. Sudiyani *et al.* [7] bersama LIPI serta Korea International Cooperation Agency (KOICA) dengan dukungan Korea Institute of Science and Technology (KIST) dan Changhae Energeering, Co. Ltd. telah melakukan kerjasama penelitian membangun *pilot plant* produksi bioetanol berbasis lignoselulosa. *Pilot plant* ini mampu memproduksi bioetanol dengan kemurnian 99,5 % (*ethanol unhydrous*) sebanyak 10 liter per hari. Berdasarkan hasil penelitian ini, produksi bioetanol dari limbah *lignoselulosa* khususnya TKKS layak dilakukan dalam skala besar.

Model rantai pasok biomassa dari TKKS yang dibangun merupakan model dengan sistem tertutup yang artinya tidak dipengaruhi oleh faktor luar seperti regulasi pemerintah dan pungutan liar selama transportasi. Berdasarkan jenis situasi nyata karakteristik sistem dipengaruhi oleh waktu dan ketidakpastian. Model yang akan dibangun tidak dipengaruhi oleh waktu atau disebut juga dengan model statik. Selain itu, model bersifat deterministik yang artinya model diformulasikan dalam keadaan pasti, dengan data yaitu kapasitas pabrik bioetanol dan permintaan BBM, biaya investasi dan operasional bioetanol serta biaya transportasi dari pabrik bioetanol menuju TBBM Teluk Kabung Bungus.

### Formulasi Model Rantai Pasok

Formulasi model pada penelitian ini berkaitan dengan model [12] dan [17] (Lihat Tabel 1). Persamaan dari kedua model tersebut adalah memiliki fungsi tujuan minimasi total biaya. Fungsi tujuan dari model [12] ialah minimasi total biaya *harvesting*, *inventory*, transportasi dan biaya investasi. Sedangkan fungsi tujuan dari model [17] ialah minimasi total biaya seperti transportasi

biomassa, konversi biofuel, transportasi biofuel, biaya fasilitas dan biofuel *shortage penalty*.

Selain itu berdasarkan jenis tingkatan pengambil keputusan (*decision making levels*) kedua model tersebut memiliki persamaan jenis tingkatan pengambil keputusan yaitu *strategic decision*. *Strategic decision* memiliki tujuan jangka panjang dan fokus terhadap keputusan lokasi dan alokasi antar fasilitas serta model transportasi. Selanjutnya metode penyelesaian model tersebut menggunakan metode pemrograman matematis. Berdasarkan karakteristik variabel, fungsi objektif dan constraint kedua model tersebut termasuk kedalam jenis *mixed integer programming*.

Oleh karena itu, berdasarkan model [12] dan [17] maka diformulasikan model optimasi jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat. Dengan tingkatan pengambil keputusan *strategic decision* yang artinya model rantai pasok memiliki tujuan jangka panjang dan fokus terhadap keputusan lokasi dan alokasi antar fasilitas serta model transportasi. Hal ini dikarenakan belum terdapatnya pemanfaatan biomassa dari TKKS di Sumatera Barat. Selain itu model optimasi jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat masih bersifat perancangan, maka fungsi tujuan dari model tersebut adalah minimasi total biaya rantai pasok yang terdiri dari biaya investasi, biaya transportasi dan biaya operasional.

### Verifikasi Model

Verifikasi model merupakan pengujian terhadap model, apakah model telah diformulasikan dengan logis dan sesuai dengan model konseptualnya. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menjamin bahwa model yang dikembangkan dapat mewakili sistem dan memberikan solusi terbaik. Teknik verifikasi yang dilakukan dengan menggunakan metode uji dimensi. Uji dimensi dilakukan dengan cara memeriksa seluruh ekspresi matematis dalam model untuk meyakinkan bahwa ekspresi-ekspresi tersebut merepresentasikan hubungan yang ada dan benar. Selain itu dilakukan verifikasi terhadap komponen model dan verifikasi sistem komputer.

### Pengumpulan Data dan Implementasi Model

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari observasi langsung serta data sekunder yang didapatkan dari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan rantai pasok biomassa dari TKKS. Data yang didapatkan berguna untuk implementasi model dengan menggunakan *software* LINGO 13.0.

### Validasi Model

Jika model yang dikembangkan telah sesuai dengan yang diharapkan maka model dikatakan *verified* dan dilanjutkan ketahap validasi model. Validasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model telah sesuai dengan keadaan sistem nyata yang sedang dikaji. Validasi model merupakan tahapan implementasi dari model yang dikembangkan. Teknik validasi yang digunakan adalah *extreme condition test* yaitu teknik validasi dengan menggunakan data ekstrim. Hal ini dilakukan dengan menggunakan lokasi pabrik yang tidak terpilih. Apabila model yang dikembangkan memberikan hasil yang diharapkan, maka model dapat dikatakan valid.

### Analisis Model

Analisis dilakukan terhadap optimasi dan implementasi model jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat. Selain itu dilakukan analisis sensitivitas untuk memahami dampak dari sebuah parameter apabila dilakukan perubahan pada struktur jaringan rantai pasok. Disamping itu untuk melihat penerapan model maka dilakukanlah analisis penerapan model terhadap kebijakan energi terbarukan di Sumatera Barat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan model jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

### Identifikasi Aktivitas Sistem Rantai Pasok Biomassa

Aktivitas yang terdapat pada sistem rantai pasok biomassa terdiri dari [25]: (1) Bahan baku (*feedstock production*); (2) Logistik bahan baku (*feedstock logistics*); (3) Produksi bioetanol (*biofuels production*); (4) Distribusi bioetanol (*biofuels distribution*); (5) Konsumen akhir (*biofuels end use*).

### Karakteristik Sistem

Penelitian ini membahas tentang lokasi pabrik bioetanol yang akan dibuka di wilayah Kabupaten Pasaman Barat dan sekitarnya serta jumlah alokasi yang akan didistribusikan. Hal ini dikarenakan Kabupaten Pasaman Barat merupakan sentra agroindustri kelapa sawit di Provinsi Sumatera Barat. Perancangan rantai pasok ini terdiri atas tiga tingkatan atau tiga eselon yaitu pabrik CPO, pabrik bioetanol dan konsumen. Pemilihan lokasi ini berdasarkan minimasi biaya yang akan dikeluarkan pada saat pembukaan lokasi. Biaya yang dipertimbangkan adalah biaya transportasi dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol, biaya pendirian pabrik bioetanol, biaya transportasi produk jadi ke konsumen serta biaya operasional pada pabrik bioetanol.

Jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat dapat dilihat pada Gambar 1. Pabrik CPO merupakan tempat pengolahan TBS menjadi CPO. Terdapat 17 pabrik CPO yang tersebar di wilayah Kabupaten Pasaman Barat dan sekitarnya. Dalam pengolahan TBS menjadi CPO akan menghasilkan limbah TKKS yang merupakan bahan baku bioetanol.

TKKS didistribusikan menuju pabrik bioetanol untuk kemudian diolah menjadi bioetanol dengan menggunakan moda transportasi darat yaitu truk *Colt diesel*. Beberapa pertimbangan didalam penentuan lokasi pabrik antara lain lingkungan masyarakat, kedekatan dengan sumber bahan baku, kedekatan dengan pasar, ketersediaan tenaga kerja dan ketersediaan fasilitas seperti sumber energi, sumber air dan sarana prasarana lainnya [26]. Penentuan lokasi pabrik bioetanol yang akan didirikan berada di Kabupaten Pasaman Barat sehingga memiliki kedekatan dengan sumber bahan baku. Hal ini berdasarkan pabrik-pabrik bioetanol yang telah ada di Indonesia yang letaknya dekat dengan sumber bahan baku bioetanol seperti pabrik bioetanol PT Energi Agro Nusantara terintegrasi dengan pabrik gula PT Perkebunan Nusantara X. Selain itu kandidat lokasi pabrik bioetanol terintegrasi dengan pabrik CPO sehingga pabrik bioetanol yang

akan didirikan memiliki ketersediaan fasilitas seperti sumber energi, sumber air dan sarana prasarana lain.

Oleh sebab itu dapat disimpulkan terdapat 17 kandidat lokasi pabrik bioetanol yang akan didirikan di Sumatera Barat. Selain itu pada penelitian ini terdapat dua jenis skala pabrik yang akan didirikan berdasarkan kapasitas pabrik bioetanol yaitu pabrik skala kecil dan skala menengah. Selanjutnya hasil produksi pabrik bioetanol didistribusikan menuju konsumen yaitu Depot Pertamina Teluk Kabung dengan menggunakan moda transportasi darat yaitu truk tangki Hino.

**Formulasi Model**

Variabel keputusan pada penelitian ini adalah lokasi pabrik bioetanol dan alokasi TKKS sebagai bahan baku serta bioetanol sebagai bahan jadi yang didistribusikan dari pabrik CPO-pabrik bioetanol-Depot Pertamina Teluk Kabung. Sedangkan asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah: (1) Model tidak mempertimbangkan harga bahan bakar minyak setelah ditambah bioetanol; (2) Bioetanol yang dimaksud dalam penelitian ini adalah bioetanol yang digunakan sebagai campuran bahan bakar untuk transportasi (*fuel grade ethanol*).

Fungsi tujuan dari model matematika rantai pasok biomassa di Sumatera Barat merupakan minimasi total biaya investasi dan operasional untuk pabrik bioetanol dengan skala kecil, total biaya investasi dan operasional untuk pabrik bioetanol dengan skala besar serta biaya transportasi. Sehingga dapat diformulasikan sebagai berikut:

Fungsi Tujuan: Minimasi total biaya rantai pasok yang terdiri dari biaya investasi, biaya operasional dan biaya transportasi dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol hingga konsumen Depot Pertamina Teluk Kabung.

$$Min Z = \sum_{k=1}^K F_k^{(1)} X_k^{(1)} \frac{r(1+r)^H}{(1+r)^H - 1} + \sum_{k=1}^K F_k^{(2)} X_k^{(2)} \frac{r(1+r)^H}{(1+r)^H - 1} + \sum_{k=1}^K O_k^{(1)} X_k^{(1)} + \sum_{k=1}^K O_k^{(2)} X_k^{(2)} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{jk}^{(1)} C_{jk}^{(1)} R_{jk} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{jk}^{(1)} C_{jk}^{(1)} R_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl}^{(2)} C_{kl}^{(2)} R_{kl} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A_{kl}^{(2)} C_{kl}^{(2)} R_{kl} \quad (6)$$

Dimana:

- ∀ J, j =
1. PT Perkebunan Nusantara VI
  2. PT Inkud Agritama
  3. PT Mutiara Agam
  4. PT Bintara Tani Nusantara
  5. PT Agrowiratama
  6. PT Andalas Agro Industri
  7. PT Pasaman Marama Sejahtera
  8. PT Sari Buah Sawit
  9. PT Sawita Pasaman Jaya
  10. PT Usaha Sawit Mandiri
  11. PT Perkebunan Pelalu Raya
  12. PT Agro Wira Ligatsa
  13. PT Gersindo Minang Plantation
  14. PT Bakrie Pasaman Plantation
  15. PT AMP Plantation
  16. PT Rimbo Panjang Sumber Makmur
  17. PT Berkat Sawit Sejahtera

- ∀ K, k =
1. PT Perkebunan Nusantara VI
  2. PT Inkud Agritama
  3. PT Mutiara Agam
  4. PT Bintara Tani Nusantara
  5. PT Agrowiratama
  6. PT Andalas Agro Industri
  7. PT Pasaman Marama Sejahtera
  8. PT Sari Buah Sawit
  9. PT Sawita Pasaman Jaya
  10. PT Usaha Sawit Mandiri
  11. PT Perkebunan Pelalu Raya
  12. PT Agro Wira Ligatsa
  13. PT Gersindo Minang Plantation
  14. PT Bakrie Pasaman Plantation
  15. PT AMP Plantation
  16. PT Rimbo Panjang Sumber Makmur
  17. PT Berkat Sawit Sejahtera

∀ L, l = TBBM PT Pertamina Teluk Kabung

Sedangkan kendala-kendala pada model adalah sebagai berikut:

1. Kendala untuk memutuskan pabrik skala kecil atau skala menengah yang akan didirikan.

$$\sum_{k=1}^K X_k^{(1)} + \sum_{k=1}^K X_k^{(2)} \leq 1 \quad (7)$$

∀ k ∈ K

2. Pertidaksamaan (8) menyatakan bahwa Pengiriman TKKS dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol skala kecil  $a_{jk}^{(1)}$  dan skala menengah ( $A_{jk}^{(1)}$ ) tidak boleh melebihi ketersediaan TKKS ( $A_j$ ).

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{jk}^{(1)} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{jk}^{(1)} \leq \sum_{j=1}^J A_j \quad (8)$$

∀ j ∈ J, ∀ k ∈ K

3. Persamaan (9) dan (10) menyatakan bahwa alokasi TKKS dari pabrik kelapa sawit ( $a_{jk}^{(1)}$ ) dikali faktor konversi bioetanol ( $\beta$ ) tidak boleh melebihi dari kapasitas maksimum pabrik bioetanol skala kecil ( $Z_k^{(1)}$ ). Begitupun dengan pabrik skala menengah.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{jk}^{(1)} \beta \leq \sum_{k=1}^K Z_k^{(1)} \quad (\text{Skala Kecil}) \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{jk}^{(1)} \beta \leq \sum_{k=1}^K Z_k^{(2)} \quad (\text{Skala Menengah}) \quad (10)$$

∀ k ∈ K, ∀ l ∈ L

4. Kendala (11) menyatakan Pasokan bioetanol yang merupakan hasil produksi dari pabrik bioetanol skala kecil ( $a_{kl}^{(2)}$ ) maupun skala menengah ( $A_{kl}^{(2)}$ ), harus lebih besar dibandingkan permintaan bioetanol dari konsumen ( $d_l$ ).

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{kl}^{(2)} + \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K A_{kl}^{(2)} \geq \sum_{l=1}^L d_l \quad (11)$$

∀ j ∈ J, ∀ k ∈ K

5. Kendala (12) merupakan kendala *flow balance* dimana alokasi bahan baku TKKS dikali faktor konversi bioetanol menuju pabrik bioetanol skala kecil  $a_{jk}^{(1)}$  dan pabrik bioetanol skala menengah  $A_{jk}^{(1)}$  sama dengan *flow out* yang keluar dari pabrik bioetanol skala kecil  $a_{kl}^{(2)}$  dan skala menengah ( $A_{kl}^{(2)}$ ).

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{jk}^{(1)} \beta + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{jk}^{(1)} \beta =$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl}^{(2)} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A_{kl}^{(2)} \quad (12)$$

$$\forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L$$

6. Alokasi TKKS dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol skala kecil ( $a_{jk}^{(1)}$ ) tidak boleh melebihi dari keputusan pendirian pabrik kecil ( $X_k^{(1)}$ ) dikali bilangan positif yang sangat besar ( $M$ ) dan begitu juga dengan pabrik skala menengah.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K a_{jk}^{(1)} \leq M \sum_{k=1}^K X_k^{(1)} \text{ (Skala Kecil)} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{jk}^{(1)} \leq M \sum_{k=1}^K X_k^{(2)} \text{ (Skala Menengah)} \quad (14)$$

$$\forall j \in J, \forall k \in K$$

$M$  = Bilangan positif yang sangat besar

7. Kendala bilangan  $M$  terhadap alokasi bioetanol dari pabrik bioetanol ( $k$ ) menuju konsumen ( $l$ ).

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{kl}^{(2)} \leq M \sum_{k=1}^K X_k^{(1)} \text{ (Skala Kecil)} \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A_{kl}^{(2)} \leq M \sum_{k=1}^K X_k^{(2)} \text{ (Skala Menengah)} \quad (16)$$

$$\forall k \in K, \forall l \in L$$

$M$  = Bilangan positif yang sangat besar

8. Kendala dimana setiap variabel keputusan tidak boleh bernilai negatif.

$$a_{jk}^{(1)} \geq 0, A_{jk}^{(1)} \geq 0, a_{kl}^{(2)} \geq 0, A_{kl}^{(2)} \geq 0, X_k^{(1)} \geq 0, X_k^{(2)} \geq 0 \quad (17)$$

9. Kendala (18) merupakan kendala bilangan biner.

$$X_k^{(1)} \in \{0,1\}, X_k^{(2)} \in \{0,1\} \quad (18)$$

**Verifikasi Model**

Verifikasi model dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa kesesuaian logika model dengan model konseptual. Verifikasi model sistem distribusi semen terdiri dari: (1) Verifikasi komponen-komponen model; (2) Pengujian dimensi model; (3) Verifikasi *syntax software* Lingo. Keseluruhan poin verifikasi mampu dipenuhi oleh model optimasi perancangan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat sehingga dapat disimpulkan model ini telah tervalidasi secara internal (*verified*).

**IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL**

**Implementasi Model**

Setelah model rantai pasok biomassa dinyatakan *verified*, selanjutnya dilakukan implementasi model dengan memasukkan data-data yang dibutuhkan dalam model tersebut. Penyelesaian model dilakukan dengan menggunakan *software* LINGO 13.0 dengan meminimasi total biaya yang akan dikeluarkan

**Data Input**

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari observasi langsung serta data sekunder yang didapatkan dari penelitian terdahulu yang berhubungan dengan rantai pasok biomassa dari TKKS. Berikut ini adalah data yang diperlukan untuk implementasi model diantaranya:

1. Kapasitas Pabrik CPO

Data kapasitas produksi dari perusahaan CPO di Pasaman Barat dan sekitarnya yang digunakan untuk menghitung kapasitas TKKS yang dihasilkan sebagai bahan baku untuk memproduksi bioetanol. Menurut Sudiyani *et al.* [7], satu ton TKKS akan menghasilkan 120,8 kg atau 0,1208 ton bioetanol [29]. Setelah dilakukan pengolahan data berdasarkan referensi tersebut, didapatkan data jumlah TKKS yang dihasilkan dari produksi CPO di Kabupaten Pasaman Barat dan sekitarnya yang digunakan sebagai bahan baku pembuat bioetanol seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Estimasi Pasokan TKKS Tahun 2015

No.	Nama Pabrik	Kapasitas Terpakai (Ton/bln)	Jumlah TKKS (Ton/bln)	Jumlah Estimasi Bioetanol (Ton/bln)
1	PT Perkebunan Nusantara VI	30.000	7.500	906
2	PT Inkud Agritama	24.000	6.000	725
3	PT Mutiara Agam	18.000	4.500	544
4	PT Bintara Tani Nusantara	24.000	6.000	725
5	PT Agrowiratama	36.000	9.000	1.087
6	PT Andalas Agro Industri	36.000	9.000	1.087
7	PT Pasaman Marama Sejahtera	36.000	9.000	1.087
8	PT Sari Buah Sawit	36.000	9.000	1.087
9	PT Sawita Pasaman Jaya	72.000	18.000	2.174
10	PT Usaha Sawit Mandiri	27.000	6.750	815
11	PT Perkebunan Pelalu Raya	36.000	9.000	1.087
12	PT Agro Wira Ligatsa	18.000	4.500	544
13	PT Gersindo Minang Plantation	48.000	12.000	1.450
14	PT Bakrie Pasaman Plantation	45.000	11.250	1.359
15	PT AMP Plantation	48.000	12.000	1.450
16	PT Rimbo Panjang Sumber Makmur	18.000	4.500	544
17	PT Berkat Sawit Sejahtera	36.000	9.000	1.087
<b>TOTAL</b>		<b>588.000</b>	<b>147.000</b>	<b>17.758</b>

Sumber: Dinas Perkebunan Kabupaten Pasaman Barat

2. Kapasitas Pabrik Bioetanol

Kandidat lokasi pabrik bioetanol terintegrasi dengan pabrik CPO yang artinya pabrik bioetanol letaknya berdekatan dengan pabrik CPO. Hal ini didasarkan oleh pabrik-pabrik bioetanol yang telah ada di Indonesia yang letaknya dekat dengan bahan baku bioetanol. Selain itu salah satu pertimbangan didalam penentuan lokasi pabrik adalah kedekatan dengan sumber bahan baku [26]. Tabel 3 menampilkan kapasitas, biaya investasi dan operasional pabrik bioetanol menurut Haque dan Epplin [27].

Tabel 3. Kapasitas Pabrik, Biaya Investasi dan Biaya Operasional Pabrik Bioetanol [27]

Item	Kapasi- tas (kl/thn.)	Alternatif		
		Base Capital Cost (\$)	Low Capital Cost (\$)	High Capital Cost (\$)
Small Plant	95,000	189,500,000	94,500,000	283,500,000
Medium Plant	189,000	275,000,000	137,500,000	412,500,000
Large Plant	379,000	400,000,000	200,000,000	600,000,000
Operation & Maintenance Cost (\$/L)		0.20		

3. Biaya Transportasi

Moda transportasi untuk distribusi bioetanol dari bahan baku hingga produk jadi menggunakan dua jenis truk yaitu truk colt diesel (pabrik CPO-pabrik bioetanol) dan truk tangki hino (pabrik bioetanol-Depot Pertamina Teluk Kabung). Penentuan biaya transportasi dilakukan dengan menghitung biaya variabel yaitu biaya transportasi yang berubah sesuai dengan jarak per unit barang yang diangkut. Biaya transportasi untuk setiap moda transportasi dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

4. Jarak

Data jarak antar lokasi dibutuhkan untuk mengetahui biaya transportasi yang akan dikeluarkan. Data tersebut didapatkan dengan menggunakan *Google Maps*.

5. Biaya Investasi Pembukaan Pabrik Bioetanol

Setelah diketahui biaya investasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3, selanjutnya dihitung faktor pengembalian modal yang berguna untuk mengkonversikan sejumlah uang pada waktu yang lain. Oleh karena itu, diketahui bunga bulanan untuk investasi menurut Bank Indonesia sebesar

5,7% dan asumsi horizon perencanaan jangka panjang yaitu selama 30 tahun atau 360 bulan [17].

*Uniform series capital recovery factor* atau disebut juga faktor pengembalian modal adalah suatu cara untuk menentukan jumlah angsuran pokok dan bunga yang besarnya sama setiap satuan waktu selama periode pinjaman. Persamaan (15) disebut juga faktor A/P yang menghasilkan *equivalent uniform annual worth* sepanjang H waktu dari investasi P yang diberikan, ketika tingkat suku bunga sama dengan r.

$$A = P \frac{r(1+r)^H}{(1+r)^H - 1} \text{ atau } A = P (A/P, r \%, H) \tag{15}$$

Berdasarkan Tabel 3 dan nilai tukar US Dollar terhadap Rupiah per tanggal 28 Juli 2017 sebesar Rp13.259,00, maka estimasi biaya investasi dan biaya operasional pabrik bioetanol dapat dilihat pada Tabel 6.

6. Permintaan

Data permintaan bahan bakar minyak di Sumatera Barat yang digunakan untuk mengetahui potensi pemasaran bahan bakar dari bioetanol sebagai campuran bahan bakar minyak. Rata-rata permintaan bioetanol di Sumatera Barat tahun 2016 per bulan sebesar 11.780 ton.

7. Biaya Operasional Pabrik Bioetanol

Komponen biaya operasional terdiri atas biaya tenaga kerja, *utility*, zat kimia, pajak, *maintenance* dan asuransi dapat dilihat pada Tabel 6 [27]. Pada Tabel 7 dapat dilihat data yang dibutuhkan oleh setiap parameter model.

Tabel 4. Biaya Transportasi Menggunakan Truk *Colt Diesel*

Jenis Biaya	Biaya (Rp)		Nilai Konversi (Rp)	Keterangan	
Biaya Bahan Bakar	5.650,00	per ltr	1.614,00	per km	Konsumsi BBM: 3,5 km/liter
Biaya Penggantian Ban	3.000.000,00	per buah	514,00	per km	Jumlah ban 6 buah. Jadwal penggantian ban 35.000 km
<b>Total Biaya Variabel</b>			608,00	/ton.km	

Tabel 5. Biaya Transportasi Menggunakan Truk Tangki Hino

	Biaya (Rp)		Nilai Konversi (Rp)	Keterangan	
Biaya Bahan Bakar	5.650,00	per ltr	2.568,00	per km	Konsumsi BBM: 2,2 km/liter
Biaya Penggantian Ban	3.000.000,00	per buah	857,00	per km	Jumlah ban 10 buah Jadwal penggantian ban 35.000 km
<b>Total Biaya Variabel</b>			225,00	/ton.km	

Tabel 6. Estimasi Biaya Investasi dan Biaya Operasional Pabrik Bioetanol Per Bulan

Skala Pabrik	Kapasitas Ton/Bulan	Biaya Investasi			Biaya Operasional	
		USD/Tahun	USD/Bulan	Rp/Bulan	USD/Bulan	Rp/Bulan
Skala Kecil	6.017	189.500.000,00	10.801.500,00	143.217.088.808,00	1.583.333,00	20.993.416.667,00
Skala Menengah	11.970	275.000.000,00	15.675.000,00	207.834.825.447,00	3.150.000,00	41.765.850.000,00

Tabel 7. Sumber Data

Paramater	Data	Keterangan	Referensi
$C_{jk}^{(1)}$	Rp608 /ton.km	Biaya transportasi TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO ( $j$ ) menuju pabrik bioetanol ( $k$ )	Diolah
$C_{kl}^{(2)}$	Rp225 /ton.km	Biaya transportasi bioetanol yang dikirimkan dari pabrik bioetanol ( $k$ ) menuju konsumen ( $l$ )	Diolah
$d_i$	11.780 ton rata-rata permintaan bioetanol per bulan	<i>Demand</i> untuk konsumen ( $i$ )	[5]
$F_k^{(1)}$	Rp143.217.088.808 per bulan	Total biaya tetap pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ ) per bulan	[27]
$F_k^{(2)}$	Rp207.834.825.447 per bulan	Total biaya tetap pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ ) per bulan	[27]
$O_k^{(1)}$	Rp20.993.416.667 per bulan	Total biaya operasional pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ ) per bulan	[27]
$O_k^{(2)}$	Rp41.765.850.000 per bulan	Total biaya operasional pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ ) per bulan	[27]
$A_j$	Lihat Tabel 2.	Ketersediaan TKKS pada pabrik CPO	[7], [5], [28], [29]
$Z_k^{(1)}$	6017 ton/bulan	Kapasitas pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ )	[27]
$Z_k^{(2)}$	11970 ton/bulan	Kapasitas pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ )	[27]
$J$	17	Jumlah Pabrik CPO di Sumatera Barat	[28], [29]
$K$	17	Jumlah kandidat lokasi pabrik bioetanol	[26]
$L$	1	Jumlah Konsumen di Sumatera Barat	TBBM Teluk Kabung
$\beta$	0,1208	Faktor konversi TKKS menjadi Bioetanol dalam satuan ton	[26]
$n$	34	Jumlah kandidat lokasi pabrik bioetanol skala kecil dan menengah	[26], [27]
$R$	5,7 %	Bunga bulanan untuk investasi	Bank Indonesia
$H$	360 Bulan	Horizon perencanaan jangka panjang	[28]

### Solusi Model

Penyelesaian model dilakukan dengan menggunakan *software* LINGO 13.0 dengan meminimasi total biaya yang dikeluarkan. Pada Tabel 8 dapat dilihat *output* fungsi tujuan dan variabel keputusan.

### Validasi Model

Validasi model merupakan tahapan akhir untuk melihat apakah model yang dikembangkan sesuai dengan yang diharapkan. Teknik validasi yang digunakan adalah *extreme condition tests*. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah model yang dikembangkan dan hasil penyelesaian model dapat dibenarkan atau tidak. Selain itu untuk melihat apakah keputusan dari penentuan lokasi pabrik bioetanol yang dihasilkan dari model wajar atau tidak dengan kondisi yang sebenarnya. Teknik validasi ini menggunakan kondisi ekstrim, yaitu menggunakan pabrik bioetanol yang berada di lokasi tidak layak dijadikan pabrik bioetanol terpilih.

Validasi dilakukan terhadap pendirian pabrik bioetanol diluar Kabupaten Pasaman Barat dan sekitarnya. Hasil penyelesaian LINGO 13.0 dengan menggantikan PT Inkud Agritama dengan PT Incasi Raya yang berlokasi di Kabupaten Dharmasraya memberikan keputusan terpilihnya lokasi PT Pasaman Marama Sejahtera dengan biaya sebesar Rp251.563.700.000,00.

Terpilihnya lokasi tersebut menunjukkan bahwa model yang dikembangkan sudah valid. Hal ini dikarenakan lokasi terpilih bukan PT Incasi Raya yang berada jauh dari Kabupaten Pasaman Barat yaitu berlokasi di Kabupaten Dharmasraya. Berdasarkan keputusan yang diperoleh model akan memilih lokasi yang memiliki jarak terdekat antar pabrik CPO sebagai sumber bahan baku bioetanol.

### Analisis Implementasi Model

Model yang dikembangkan merupakan model penentuan lokasi dan alokasi bioetanol dari TKKS di Sumatera Barat dengan mempertimbangkan biaya transportasi dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol serta dari pabrik bioetanol menuju TBBM Teluk Kabung Bungus, biaya investasi serta biaya operasional yang merupakan biaya yang akan dikeluarkan untuk mendirikan dan menjalankan pabrik pengolahan bioetanol. Parameter yang digunakan dalam model ini yaitu:

1. Biaya transportasi dari pabrik CPO-pabrik bioetanol-TBBM Teluk Kabung  
Parameter ini akan berbanding lurus dengan jarak tempuh yang akan dilalui. Semakin dekat jarak antara pabrik CPO dengan pabrik bioetanol, maka akan semakin kecil biaya transportasi yang akan dikeluarkan.
2. Permintaan  
Parameter ini menjamin bahwa jumlah yang akan dikirimkan dari pabrik bioetanol menuju TBBM Teluk Kabung melebihi atau sekurang-kurangnya sama besar dengan permintaan konsumen terhadap bahan bakar minyak di Sumatera Barat.

3. Kapasitas Pabrik Bioetanol  
Parameter ini menjamin bahwa jumlah yang dikirimkan dari pabrik CPO menuju pabrik bioetanol tidak melebihi dari kapasitas pabrik bioetanol. Kapasitas pabrik bioetanol terdiri atas pabrik bioetanol skala kecil dan menengah.
4. Biaya Tetap  
Biaya tetap ini merupakan biaya yang dikeluarkan apabila pabrik bioetanol didirikan. Biaya tetap pendirian pabrik bioetanol tergantung kepada skala kecil atau menengah pabrik bioetanol yang didirikan.
5. Biaya Operasional  
Untuk komponen biaya operasional adalah biaya tenaga kerja, utilitas, zat kimia, pajak, perawatan, dan asuransi. Besarnya biaya operasional berdasarkan kapasitas pabrik bioetanol.

### Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan tahapan yang dilakukan untuk melihat bagaimana kekuatan dari solusi optimal yang sudah diperoleh apabila dilakukan perubahan-perubahan terhadap parameter. Analisis sensitivitas yang dilakukan terhadap model yaitu:

1. Analisis Sensitivitas Terhadap Permintaan Bioetanol  
Analisis sensitivitas dilakukan terhadap peningkatan jumlah permintaan BBM dengan persentase sebesar  $\pm 5\%$  dan  $\pm 10\%$  dikarenakan berdasarkan data dari *International Energy Agency* (IEA) permintaan bahan bakar minyak untuk sektor transportasi diprediksi akan tumbuh sebesar 0,9 % per tahun. Hasil sensitivitas menunjukkan apabila terjadi peningkatan permintaan BBM maka total biaya pada variabel keputusan meningkat. Dan karena kapasitas pabrik bioetanol yang tidak dapat memenuhi kenaikan permintaan maka terjadi penambahan lokasi pendirian pabrik sehingga permintaan dapat terpenuhi. Selain itu PT Pasaman Marama Sejahtera tetap menjadi lokasi pembangunan pabrik bioetanol yang terpilih sesuai dengan *output* model awal.
2. Analisis Sensitivitas Terhadap Biaya Transportasi  
Berdasarkan data proyeksi faktor fundamental yang mempengaruhi harga minyak dunia yang bersumber dari *Energy Information Administration* (EIA) US *Department of Energy*, proyeksi harga minyak mentah dengan skenario normal mengalami kenaikan sebesar 4,1% per tahun. Hal ini tentunya akan mengakibatkan peningkatan biaya transportasi bagi truk pengangkut TKKS dikarenakan harga bahan bakar minyak yang cenderung. Hasil analisis sensitivitas terhadap parameter biaya transportasi menunjukkan hubungan berbanding lurus antara kenaikan parameter biaya transportasi dengan total biaya rantai pasok. Semakin tinggi kenaikan parameter biaya transportasi maka total biaya optimal rantai pasok juga akan meningkat. Sedangkan untuk keputusan pendirian pabrik PT Pasaman Marama Sejahtera tetap menjadi keputusan lokasi pendirian pabrik bioetanol.
3. Analisis Sensitivitas Terhadap Biaya Operasional  
Biaya operasional pada waktu sekarang berbeda dengan waktu yang akan datang karena dipengaruhi oleh inflasi. Inflasi adalah suatu proses meningkatnya harga-harga secara umum dan terus menerus. Oleh karena itu analisis sensitivitas dilakukan terhadap parameter biaya operasional dengan rentang persentase sebesar  $\pm 5\%$  dan  $\pm 10\%$ . Sensitivitas terhadap parameter biaya operasional menunjukkan semakin meningkatnya parameter biaya operasional maka total biaya

rantai pasok biomassa juga meningkat. Namun hal ini tidak mempengaruhi terhadap keputusan lokasi pabrik bioetanol yang terpilih.

4. Analisis Sensitivitas Terhadap Biaya Investasi  
Analisis sensitivitas yang terakhir dilakukan terhadap parameter biaya investasi. Menurut data Bank Indonesia, rata-rata bunga bulanan untuk investasi dalam 10 tahun terakhir (2005-2016) adalah sebesar 7,44 per bulan. Oleh karena itu dilakukanlah analisis sensitivitas terhadap biaya investasi dengan rentang persentase suku Bunga bulanan untuk investasi sebesar  $\pm 5\%$  dan  $\pm 10\%$ . Hasil analisis sensitivitas terhadap parameter biaya investasi menunjukkan hubungan berbanding berbanding lurus antara kenaikan parameter biaya investasi dengan total biaya rantai pasok. Semakin tinggi kenaikan parameter biaya investasi maka total biaya optimal rantai pasok akan meningkat. Sedangkan untuk keputusan pendirian pabrik PT Pasaman Marama Sejahtera tetap menjadi keputusan lokasi pendirian pabrik bioetanol.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas yang dilakukan, maka hasil perbandingan analisis sensitivitas terhadap setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9 dapat dilihat parameter permintaan memberikan pengaruh paling besar dibandingkan dengan parameter biaya transportasi, biaya operasional dan biaya investasi. Hal ini dikarenakan setiap kenaikan permintaan berpengaruh terhadap ketersediaan TKKS pada pabrik CPO dan kapasitas pabrik bioetanol. Apabila permintaan melebihi kapasitas pabrik bioetanol maka untuk memenuhi permintaan tersebut harus dilakukan penambahan pendirian pabrik agar permintaan terpenuhi. Selain itu ketersediaan TKKS dimasing-masing pabrik CPO mempengaruhi keputusan lokasi pendirian pabrik. Pabrik akan didirikan dilokasi terdekat dengan sumber bahan baku dan juga konsumen.

### Analisis Penerapan Model Terhadap Kebijakan Energi Terbarukan di Sumatera Barat

Kabupaten Pasaman Barat merupakan daerah pengembangan agribisnis kelapa sawit. Penggunaan lahan terbesar yaitu pada sektor perkebunan dengan persentase 37,67%. Pesatnya perkembangan sektor perkebunan kelapa sawit membuat pabrik CPO yang berada di Kabupaten Pasaman Barat menghasilkan limbah dari produksi CPO. Salah satu limbah tersebut adalah TKKS yang limbahnya belum dimanfaatkan secara optimal. TKKS merupakan limbah organik yang berpotensi untuk dijadikan bioenergi pengganti bahan bakar fosil.

Pendirian pabrik bioetanol di wilayah Kabupaten Pasaman Barat atas pertimbangan kedekatan pabrik dengan sumber bahan baku. Selain itu pendirian pabrik bioetanol terintegrasi dengan pabrik CPO sehingga lokasi pabrik bioetanol berdekatan dengan pabrik CPO. Pertimbangan lain adalah lokasi pabrik CPO pada umumnya telah memiliki sarana prasarana yang memadai seperti listrik, sumber air dan sarana transportasi.

Pendirian pabrik baru tentunya membutuhkan tenaga kerja yang berguna untuk melaksanakan proses produksi. Dari segi ketersediaan tenaga kerja berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2016 jumlah pengangguran di Kabupaten Pasaman Barat sebanyak 11.482 orang. Oleh karena itu dapat disimpulkan Kabupaten Pasaman Barat memiliki potensi tenaga kerja yang memadai sehingga pendirian pabrik baru dinilai layak dilakukan.

Selain itu dengan adanya investasi pendirian pabrik dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat.

Dari aspek ketersediaan energi terbarukan saat ini, Provinsi Sumatera Barat telah menggarap potensi panas bumi melalui PT Supreme Energy Muara Labuh dengan potensi energi 606 MW dan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) dengan

kapasitas 351 MW. Sedangkan potensi energi terbarukan yang bersumber dari biomassa belum dimanfaatkan oleh Sumatera Barat. Melihat besarnya potensi biomassa yang bersumber dari limbah pabrik CPO, pemerintah Sumatera Barat perlu mencari investor dari berbagai pihak termasuk investor asing karena investasi di bidang energi terbarukan merupakan peluang investasi yang menjanjikan.

Tabel 8. Output Fungsi Tujuan dan Variabel Keputusan

No.	Notasi	Output	Keterangan
1	Z	Rp251.563.700.000,00	Total biaya optimal rantai pasok biomassa dari tandan kosong kelapa sawit
2	$X_7^{(2)}$	PT Pasaman Marama Sejahtera	Pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera) skala menengah terpilih untuk didirikan
	$A_{17}^{(1)}$	3016	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Perkebunan Nusantara VI) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{47}^{(1)}$	6000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Bintara Tani Nusantara) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{57}^{(1)}$	9000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Agrowiratama) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{77}^{(1)}$	9000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Pasaman Marama Sejahtera) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{87}^{(1)}$	9000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Sari Buah Sawit) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
3	$A_{97}^{(1)}$	18000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Sawita Pasaman Jaya) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{107}^{(1)}$	6750	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Usaha Sawit Mandiri) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{127}^{(1)}$	4500	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Agro Wira Ligatsa) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{137}^{(1)}$	12000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Gersindo Minang Plantation) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{147}^{(1)}$	11250	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Bakrie Pasaman Plantation) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
	$A_{177}^{(1)}$	9000	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO (PT Berkat Sawit Sejahtera) menuju pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera)
4	$A_{71}^{(2)}$	11780	Jumlah bioetanol yang dikirimkan dari pabrik bioetanol (PT Pasaman Marama Sejahtera) menuju konsumen (TBBM PT Pertamina Teluk Kabung)

Tabel 9. Perbandingan Analisis Sensitivitas pada Total Biaya

Perubahan Parameter	Pengaruh Perubahan Terhadap TC (%)				
	-10%	-5%	0%	5%	10%
Permintaan	-0.00126	-0.00068	0.00000	0.65045	0.64763
Biaya Transportasi	-0.00078	-0.00039	0.00000	0.00039	0.00078
Biaya Operasional	-0.01660	-0.00830	0.00000	0.00830	0.01660
Biaya Investasi	-0.08262	-0.04131	0.00000	0.04131	0.08262

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu perancangan jaringan rantai pasok biomassa dari TKKS di Sumatera Barat, dimulai dari bahan baku TKKS yang bersumber dari pabrik CPO di Kabupaten Pasaman Barat dan sekitarnya. Hasil yang didapatkan dari model matematika *mixed integer linier programming* yaitu penempatan lokasi pabrik bioetanol pada PT Pasaman Marama Sejahtera skala menengah dengan total biaya sebesar Rp251.563.700.000,00. Bagi pemerintah Sumatera Barat, sebagai pengguna (*user*) dan pengambil keputusan, model dapat dikembangkan untuk tahap selanjutnya dengan membuat aplikasi sistem informasi manajemen sehingga model menjadi lebih *user friendly* dengan melibatkan pengambil keputusan pemerintah Sumatera Barat. Model juga dapat dikembangkan dengan adanya kombinasi

variabel tambahan berupa keputusan pemilihan investor atau pengembangan model dapat dilakukan dengan mengintegrasikan antara produksi CPO dan bioetanol.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] M. dan P. Direktorat Sumber Daya Energi, "Policy Paper Keselarasan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dengan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Rencana Umum Energi Daerah (RUED)," Jakarta, 2012.

[2] P. P. R. Indonesia, "Undang-Undang Nomor 05 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional," pp. 1-5, 2006.

[3] T. J. I. of Energy, *Buku Panduan Biomassa Asia Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. Jakarta: Kementerian Pertanian, Kehutanan dan Perikanan, 2008.

[4] B. P. Prastowo and Bambang, "Gasifikasi TKKS: Konversi Limbah TKKS untuk Sumber Energi Terbarukan," in *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Perkebunan*, 2011, pp. 196-205.

- [5] Departemen Perindustrian, *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*. Jakarta: Pusat Data & Informasi, 2007.
- [6] N. I. L. U. H. Arpiwi, S. Si, and M. Sc, "Diktat Kuliah Bioenergi: Biodiesel Dan Bioetanol," Universitas Udayana, 2015.
- [7] Y. Sudiyani et al., "Utilization of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber of Palm Oil for Bioethanol Production Using Pilot – Scale Unit Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot – scale unit," *Energy Procedia*, vol. 32, pp. 31–38, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005>.
- [8] D. P. K. P. Barat, "Data Pabrik Kelapa Sawit," 2015.
- [9] S. M. Nur and J. Jusuf, *Biomassa Bahan Baku & Teknologi Konversi untuk Energi Terbarukan*, Sangatta and Bogor: Kajian Pustaka dan Gagasan Aplikasi di Indonesia, 2014.
- [10] S. Chhopra and P. Meindl, *Supply Chain Management*, 3rd ed. New Jersey: Pearson, 2007.
- [11] G. J. Lieberman and F. S. Hillier, *Introduction to Operational Research*, 7th ed. New York: McGraw Hill International Editions, 2001.
- [12] S. D. Eksioğlu, A. Acharya, L. E. Leightley, and S. Arora, "Analyzing the design and management of biomass-to-biorefinery supply chain," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 57, pp. 1342–1352, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.07.003>.
- [13] D. Vera, J. Carabias, F. Jurado, and N. Ruiz-reyes, "A Honey Bee Foraging approach for optimal location of a biomass power plant," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 7, pp. 2119–2127, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.015>.
- [14] L. Čuček, P. S. Varbanov, J. J. Klemeš, and Z. Kravanja, "Total footprints-based multi-criteria optimisation of regional biomass energy supply chains," *Energy* 44, pp. 135–145, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.040>.
- [15] J. Kim, M. J. Realff, and J. H. Lee, "Optimal design and global sensitivity analysis of biomass supply chain networks for biofuels under uncertainty," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 35, no. 9, pp. 1738–1751, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.02.008>.
- [16] W. A. Marvin, L. D. Schmidt, S. Benjaafar, D. G. Tiffany, and P. Daoutidis, "Economic Optimization of a Lignocellulosic Biomass-to-Ethanol Supply Chain," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 67, no. 1, pp. 68–79, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.05.055>.
- [17] L. Zhang and G. Hu, "Supply chain design and operational planning models for biomass to drop-in fuel production," *Biomass and Bioenergy*, vol. 58, pp. 238–250, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.08.016>.
- [18] B. Sharma, R. G. Ingalls, C. L. Jones, R. L. Huhnke, and A. Khanchi, "Bioresource Technology Scenario optimization modeling approach for design and management of biomass-to-biorefinery supply chain system," *Bioresour. Technol.*, vol. 150, pp. 163–171, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.120>.
- [19] A. Bernardi, S. Giarola, and F. Bezzo, "Spatially Explicit Multiobjective Optimization for the Strategic Design of First and Second Generation Biorefineries Including Carbon and Water Footprints," *J. Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 52, pp. 7170–7180, 2013. <https://doi.org/10.1021/ie302442j>.
- [20] H. Paulo, A. P. F. D. Barbosa-póvoa, and S. Relvas, "Energy from Lignocellulosic Biomass: Supply Chain Modeling to Maximize Net Energy Production," *24 Eur. Symp. Comput. Aided Process Eng.*, vol. 33, no. 2007, pp. 481–486, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63456-6.50081-8>.
- [21] E. Grigoroudis, K. Petridis, and G. Arabatzis, "RDEA: A recursive DEA based algorithm for the optimal design of biomass supply chain networks," *Renew. Energy*, vol. 71, pp. 113–122, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.001>.
- [22] S. Roni, S. D. Eksioğlu, E. Searcy, and K. Jha, "A supply chain network design model for biomass co-firing in coal-fired power plants," *Transp. Res. PART E*, vol. 61, pp. 115–134, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.10.007>.
- [23] S. Mohseni, M. S. Pishvaei, and H. Sahebi, "Robust design and planning of microalgae biomass-to-biodiesel supply chain: A case study in Iran," *Energy*, vol. 111, pp. 736–755, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.025>.
- [24] Jonrinaldi, R. A. Hadiguna, and R. Salastino, "A Mixed Integer Linear Programming Model for Operational Planning of A Biodiesel Supply Chain Network from Used Cooking Oil," in *AIP Conference Proceedings*, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.5010623>.
- [25] N. Kazemzadeh, "Optimization Models for Biorefinery Supply Chain Network Design under Uncertainty," Iowa State University, 2013. <https://doi.org/10.1063/1.4822255>.
- [26] A. Pratiwi, "Faktor-Faktor Mempengaruhi Pemilihan Lokasi Terhadap Kesuksesan Usaha Jasa ( Studi Pada Usaha Jasa Mikro Mikro-Kecil Kecil Di Sekitar Kampus Undip Pleburan)," Universitas Diponegoro, 2010.
- [27] M. Haque and F. M. Epplin, "Cost to produce switchgrass and cost to produce ethanol from switchgrass for several levels of biorefinery investment cost and biomass to ethanol conversion rates," *Biomass and Bioenergy*, vol. 46, no. Table 1, pp. 517–530, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.07.008>.
- [28] K. P. Barat, "Produksi kelapa sawit pasaman barat," Pasaman Barat, 2016.
- [29] D. P. K. P. Barat, "Data Pabrik Kelapa Sawit," Kabupaten Pasaman Barat, 2015.

## NOMENKLATUR

$j$	Pabrik CPO
$k$	Pabrik Bioetanol
$l$	TBBM Pertamina
$C_{jk}^{(1)}$	Biaya transportasi TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO ( $j$ ) menuju pabrik bioetanol ( $k$ )
$C_{kt}^{(2)}$	Biaya transportasi bioetanol yang dikirimkan dari pabrik bioetanol ( $k$ ) menuju konsumen ( $l$ )
$dl$	Demand untuk konsumen ( $l$ )
$F_k^{(1)}$	Total biaya tetap pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ )
$F_k^{(2)}$	Total biaya tetap pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ )
$O_k^{(1)}$	Total biaya operasional pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ )
$O_k^{(2)}$	Total biaya operasional pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ )
$A_j$	Ketersediaan TKKS pada pabrik CPO ( $j$ )
$Z_k^{(1)}$	Kapasitas pabrik bioetanol skala kecil ( $k$ )
$Z_k^{(2)}$	Kapasitas pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ )
$\beta$	Faktor konversi TKKS menjadi Bioetanol dalam satuan ton
$n$	Jumlah kandidat lokasi pabrik bioetanol skala kecil dan menengah
$A_{jk}^{(1)}$	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO ( $j$ ) menuju pabrik bioetanol skala menengah ( $k$ )
$A_{kl}^{(2)}$	Jumlah bioetanol yang dikirimkan dari pabrik bioetanol ( $k$ ) menuju konsumen skala menengah ( $l$ )
$a_{jk}^{(1)}$	Jumlah TKKS yang dikirimkan dari pabrik CPO ( $j$ ) menuju pabrik bioetanol ( $k$ ) skala kecil

$a_{kl}^{(2)}$	Jumlah bioetanol yang dikirimkan dari pabrik bioetanol skala kecil (k) menuju konsumen (l)	P	<i>Present value</i> (Jumlah uang pada saat sekarang ini)
$X_k^{(1)}$	Variabel keputusan yang apabila bernilai 1 lokasi pabrik bioetanol (k) skala kecil terpilih dan bernilai 0 jika tidak terpilih	r	Suku bunga per satuan waktu
$X_k^{(2)}$	Variabel keputusan yang apabila bernilai 1 lokasi pabrik bioetanol (k) skala menengah terpilih dan bernilai 0 jika tidak terpilih	H	Jumlah satuan waktu
A	<i>Uniform series</i> (jumlah uang yang besarnya sama, dibayarkan setiap satuan waktu)	$R_{jk}$	Jarak dari pabrik CPO (j) menuju pabrik bioetanol (k)
		$R_{kl}$	Jarak dari pabrik bioetanol (k) menuju konsumen (l)
			CPO Crude Palm Oil
		GIS	Geographic Information System
		MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
		PLTMH	Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro
		TBS	Tandan Buah Segar
		TKKS	Tandan Kosong Kelapa Sawit