

**SISTEM PENUNJANG KEPUTUSAN
UNTUK OPTIMALISASI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT**

**DECISION SUPPORT SYSTEM
FOR OPTIMIZATION OF WASTE UTILIZATION OF PALM OILMILL SOLID WASTE**

Deva Chandra Fibrian^{1)*}, Sri Martini²⁾, Marimin²⁾

¹⁾Central Audit, PT Gula Putih Mataram, Tanjung Karang Office (TKO)
Jln. Cut Mutia 58, Teluk Betung 35000, Bandar Lampung
Email : devastp@gmail.com

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a Decision Support System (DSS) for optimization of waste utilization of palm oil mill waste. The waste studied here focused on one that can be used by the oil palm industry, namely empty fruit bunch (EFB). The computerized model of decision support system for optimization of EFB utilization developed was called PW Optima 1.0. Goal Programming (GP) combined with Analytical Hierarchy Process (AHP) were used for the optimization. Priority of several goals in the GP was determined by the AHP method. That goal targets of optimization of EFB utilization were an affordable cost, a minimize level of environmental pollution and maximum benefit. This decision support system model was verified by using real cases and showed promising results.

Keywords : decision support system, optimization, empty fruit bunch, goal programming, analytical hierarchy process

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penunjang keputusan (SPK) untuk optimalisasi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit. Limbah pabrik kelapa sawit yang dikaji difokuskan pada salah satu jenis limbah padat yang dapat dimanfaatkan oleh pihak industri kelapa sawit, yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Model sistem penunjang keputusan optimalisasi pemanfaatan TKKS dikembangkan dalam bentuk model terkomputerisasi yang bernama PW Optima 1.0. Analisis optimasi pada program PW Optima 1.0 menggunakan metode *Goal Programming* (GP) yang dikombinasikan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penentuan beberapa prioritas sasaran pada GP ditentukan dengan metode AHP. Sasaran yang dimaksud merupakan sasaran dari optimalisasi pemanfaatan TKKS yaitu biaya yang terjangkau, dapat meminimalkan tingkat pencemaran lingkungan dan mendatangkan keuntungan yang maksimal. Verifikasi pada kasus nyata menunjukkan bahwa sistem penunjang keputusan ini dapat digunakan untuk menentukan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang optimal pada sasaran yang telah ditetapkan.

Kata kunci : sistem penunjang keputusan, optimalisasi, tandan kosong kelapa sawit, *goal programming*, *analytical hierarchy process*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan yang memberikan kontribusi penting pada pembangunan ekonomi Indonesia, khususnya pada pengembangan sektor agroindustri. Ceraahnya prospek komoditi minyak sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit (Sari, 2008). Dirjen Perkebunan (2008) mencatat pada tahun 2007 luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 6.611.614 ha yang tersebar di 22 propinsi. Kuantitas limbah pabrik kelapa sawit (PKS) semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri kelapa sawit yang sedang terjadi. Oleh karena itu, diperlukan metode penanganan limbah yang tepat

dan optimal untuk diterapkan agar limbah yang semakin meningkat kuantitasnya dapat tertangani dengan baik sehingga dampak negatif yang ditimbulkannya dapat diminimalkan.

Jenis limbah PKS yang dikaji pada penelitian ini difokuskan pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Menurut Ditjen PPHP Departemen Pertanian (2006), TKKS umumnya dapat langsung dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan tanpa harus diolah terlebih dahulu. TKKS biasanya dimanfaatkan sebagai mulsa di lahan perkebunan yang berfungsi sebagai penambah nutrisi tanah dan membantu mengurangi dampak yang kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman serta produksi pada saat kemarau.

Tingkat polusi lingkungan telah dapat diminimalisir setelah pelarangan pembakaran TKKS

di *incenerator* diterapkan. Saat ini, umumnya TKKS dimanfaatkan di lahan perkebunan sebagai mulsa. Tetapi, penerapan tandan kosong sebagai mulsa membutuhkan biaya operasional (transportasi) yang tinggi sehingga untuk menekan biaya operasional tersebut kebanyakan pihak PKS tidak memperhatikan cara-cara penerapan mulsa yang baik. Hal ini dapat menyebabkan timbulnya hama pengganggu tanaman kelapa sawit yang tentu saja akan mengganggu produktivitas tanaman kelapa sawit (Weng dan Kandiah, 2007).

Saat ini, berbagai metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS telah banyak dikembangkan. TKKS memiliki potensi pemanfaatan yang sangat besar sehingga dapat mendatangkan keuntungan secara finansial. Namun pada kenyataannya, kebanyakan pihak industri kelapa sawit di Indonesia tidak terlalu tertarik dengan metode-metode pengolahan dan pemanfaatan yang telah dikembangkan karena dinilai membutuhkan biaya penerapan yang relatif sangat mahal dibandingkan dengan metode konvensional yang telah mereka terapkan sebelumnya. Di lain hal, cukup banyaknya metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang tersedia saat ini membuat pihak industri kelapa sawit perlu untuk mempertimbangkan berbagai faktor dalam memilih dan menerapkan metode yang tepat dan optimal.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan suatu sistem guna membantu pihak industri kelapa sawit dalam mempertimbangkan dan menentukan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang akan diterapkan. Sistem yang dikembangkan yaitu berupa sistem penunjang keputusan untuk optimalisasi pemanfaatan TKKS. Sistem ini diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan pertimbangan kepada pihak industri kelapa sawit dalam memilih dan menerapkan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang tepat dengan kapasitas yang optimal sehingga dapat memberikan keuntungan secara finansial serta menjaga kelestarian lingkungan. Melalui sistem ini juga diharapkan pihak industri kelapa sawit dapat mengetahui nilai-nilai keuntungan yang dapat diperoleh dari berbagai metode penanganan TKKS sehingga nilai penerapan suatu metode penanganan tidak hanya dilihat dari biaya tetapi juga dilihat dari nilai manfaat yang diperoleh.

Metode optimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *goal programming* yang dikombinasikan dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) sebagai salah satu metode yang digunakan dalam pengambilan keputusan kriteria majemuk. Menurut Bertoloni dan Bevilacqua (2005), *goal programming* digunakan sebagai sebuah pendekatan yang efektif untuk suatu proses pengambilan keputusan yang memiliki banyak tujuan dengan sifat yang saling bertentangan. Selain

itu, fungsi tujuan dari model *goal programming* dapat terdiri dari unit-unit (satuan) ukuran yang tidak homogen.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model Sistem Penunjang Keputusan untuk optimalisasi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit (TKKS). Model yang dikembangkan terdiri dari model penentuan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS dan informasi mengenai metode pengolahan dan pemanfaatan yang direkomendasikan oleh pihak-pihak yang berkecimpung (pakar) dalam sistem penanganan limbah PKS.

Penelitian ini mencakup pemodelan optimalisasi pemanfaatan limbah PKS yang dapat dilakukan oleh pihak PKS. Pada tulisan ini, optimalisasi pemanfaatan limbah PKS yang dikaji difokuskan pada TKKS, untuk optimalisasi pemanfaatan limbah cair PKS akan disajikan pada tulisan lain. Jenis metode pengolahan dan pemanfaatan yang dikaji pada penelitian ini merupakan rekomendasi dari pihak Ditjen PPHP Departemen Pertanian. Berikut rincian metode pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS yang dikaji adalah Metode pengolahan TKKS dengan teknologi kompos. Metode pemanfaatan meliputi pemanfaatan sebagai mulsa dan pemanfaatan kompos di lahan perkebunan dan penjualan kompos.

METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai pengolahan dan pemanfaatan limbah PSK telah dilakukan oleh Mailinton (2007) yang meneliti mengenai model penilaian kinerja penanganan limbah pabrik kelapa sawit yang mencakup metode penanganan limbah pabrik kelapa sawit dan parameter-parameter limbah yang dapat merusak lingkungan. Lebih lanjut Mailinton (2007) menjelaskan tiga jenis kelompok penanganan limbah. Pertama, limbah cair dan lumpur ditangani dengan teknologi sistem kolam dan limbah (TKKS) dimanfaatkan sebagai mulsa. Kedua, limbah cair dan lumpur dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Ketiga, limbah cair dan lumpur serta TKKS diolah menjadi kompos.

Pada penelitian ini, dikembangkan SPK untuk optimalisasi pemanfaatan TKKS. Pendekatan sistem digunakan untuk mengetahui berbagai faktor yang berpengaruh terhadap pengambilan keputusan dalam pemilihan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2009 sampai bulan Februari 2010 di Subdit pengelolaan lingkungan Ditjen PPHP Departemen Pertanian dan Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.

Pengolahan dan Analisis Data

GP digunakan dalam model SPK ini dikombinasikan dengan metode AHP. Menurut Armindo (2006), metode GP dapat menangani masalah alokasi optimal atau kombinasi optimum dari beberapa masalah yang bertolak belakang sehingga keputusan yang diambil merupakan hasil yang memuaskan dari berbagai alternatif yang ditawarkan. AHP merupakan suatu analisis yang dapat dipakai dalam pengambilan keputusan untuk memahami kondisi suatu sistem dan membantu melakukan prediksi dalam pengambilan keputusan, yang pada penelitian ini digunakan sebagai pemberi bobot prioritas (peluang keterpilihan) dari metode-metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang dipertimbangkan. Kedua metode tersebut digunakan untuk merumuskan fungsi-fungsi optimasi yang akan dihitung sehingga dapat menghasilkan nilai-nilai optimal untuk menentukan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang direkomendasikan. Gambar 1 disajikan diagram alir kerangka pemikiran penelitian.

Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder baik data kualitatif dan kuantitatif. Data primer meliputi data hasil wawancara (kuesioner) dengan pakar yang terlibat dalam perumusan permasalahan sistem yang dikaji untuk menentukan prioritas tujuan dari optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS yang kemudian dianalisis dengan metode AHP. Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini.

Informasi dan data mengenai metode-metode penanganan TKKS yang dikaji diperoleh sebagian dari perusahaan kelapa sawit yang memiliki pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah yang sama (30 ton Tandan Buah Segar (TBS)/jam) dan telah menerapkan salah satu metode pengolahan atau pemanfaatan TKKS yang dikaji.

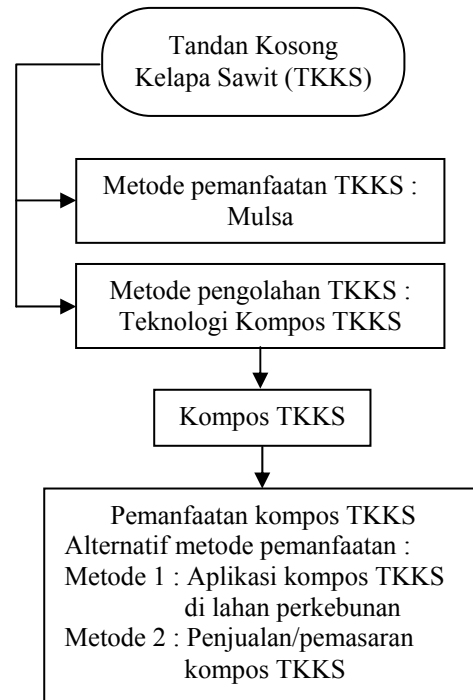
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Pengolahan dan Pemanfaatan TKKS

Model pengolahan dan pemanfaatan TKKS disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 2. Model yang dikembangkan diarahkan dapat merepresentasikan kondisi penanganan TKKS secara umum. Model ini dirancang berdasarkan pada literatur yang diperoleh dari Ditjen PPHP Departemen Pertanian (2006), Taniwiryono (2009)

dan wawancara dengan pakar dari Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.

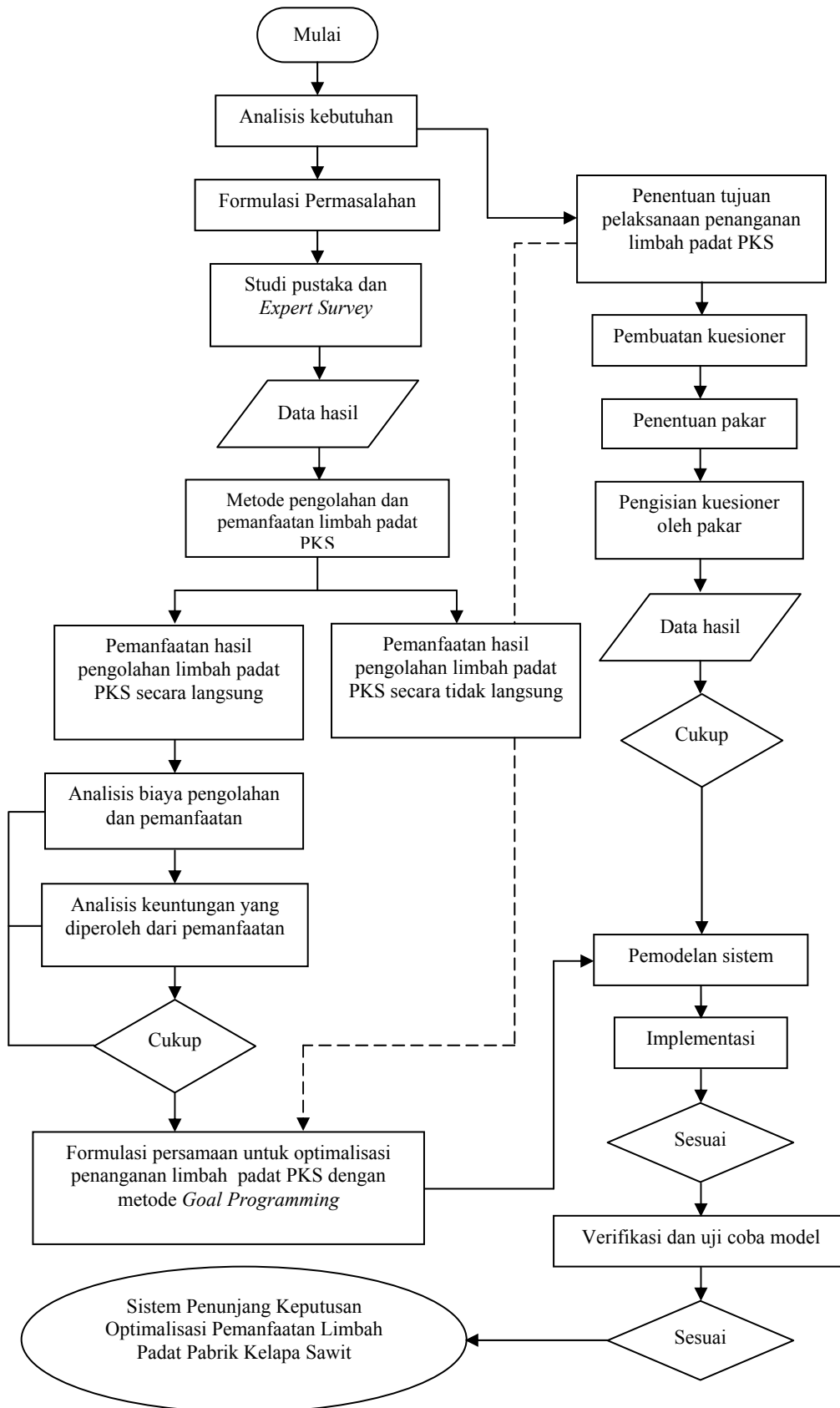
Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui beberapa hal yang akan ditentukan, yaitu penentuan kapasitas TKKS untuk dimanfaatkan sebagai mulsa untuk diolah dengan metode kompos, penentuan kapasitas untuk dimanfaatkan di lahan perkebunan, dan untuk kompos TKKS untuk dijual ke pihak lain.



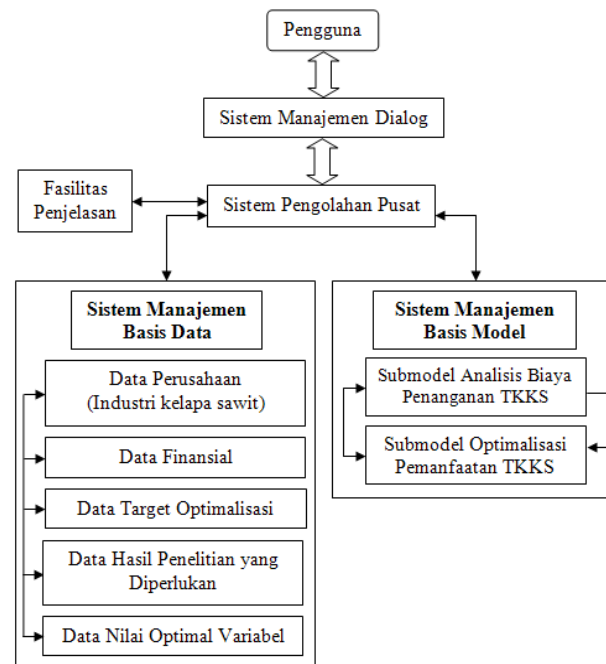
Gambar 2. Diagram alir model pengolahan dan pemanfaatan TKKS

Pemodelan Sistem Penunjang Keputusan Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Model SPK untuk optimalisasi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit dirancang dan dibuat dalam suatu paket program komputer yang diberi nama PW Optima 1.0. Konfigurasi model PW Optima 1.0 terdiri dari sistem manajemen basis data dan sistem manajemen basis model yang dihubungkan dengan sistem pengolahan terpusat dengan bantuan sistem manajemen dialog. Sistem ini dapat memudahkan komunikasi antara pengguna dengan komputer dan bersifat interaktif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang menyajikan konfigurasi model SPK optimalisasi pemanfaatan TKKS.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran penelitian



Gambar 3. Konfigurasi model SPK optimalisasi pemanfaatan TKKS

Pengembangan model PW Optima 1.0 menggunakan *software Borland Delphi 7* untuk analisa dan pengembangan sistem serta *Miscrosoft Access 2003* untuk menangani manajemen basis data. Program PW Optima 1.0 terintegrasi dengan *software Expert Choice* dan LINDO dalam proses penggunaannya. Keluaran dari *software Expert Choice* berupa nilai-nilai bobot hasil analisis AHP digunakan dalam perumusan fungsi kendala dan fungsi tujuan pada submodel optimalisasi pemanfaatan TKKS. Fungsi tujuan dan fungsi-fungsi kendala yang telah dirumuskan kemudian dihitung dengan menggunakan *software LINDO* untuk memperoleh nilai optimal dari masing-masing variabel pada fungsi tujuan dan fungsi-fungsi kendala tersebut. Nilai-nilai optimal tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang dapat diterapkan beserta kapasitas pengolahan dan pemanfaatannya.

Berdasarkan Gambar 3, ditunjukkan bahwa paket program PW Optima 1.0 memiliki lima kelompok data yang terdapat di dalam satu *file* basis data dan telah terintegrasi dengan paket program. Dalam operasionalnya, paket program PW Optima 1.0 dapat dioperasikan oleh dua jenis status pengguna (*user*), yaitu pengguna biasa (*guest*) dan *administrator*. Pengguna biasa dapat mengakses seluruh data dan informasi yang disediakan di dalam program, tetapi tidak dapat mengubah keseluruhan nilai-nilai yang berada dalam basis data program tersebut. Sementara itu, pengguna dengan status *administrator* harus mengisi nama dan *password* terlebih dahulu untuk masuk ke dalam menu utama

program. *Administrator* dapat mengakses seluruh data dan informasi yang tersedia di dalam program serta dapat mengubah keseluruhan nilai-nilai yang ada di dalam basis data program.

Secara keseluruhan, program PW Optima 1.0 memiliki empat submodel sistem manajemen basis model. Untuk optimalisasi pemanfaatan TKKS, terdapat dua submodel yang dikembangkan, yaitu submodel analisis biaya penanganan TKKS dan submodel optimalisasi pemanfaatan TKKS. Sementara dua submodel lainnya merupakan submodel yang berfungsi untuk optimalisasi pemanfaatan limbah cair PKS. Submodel analisis biaya penanganan TKKS menggunakan metode heuristik untuk melakukan analisis biaya pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS. Hasil penghitungan dengan metode heuristik ini yaitu berupa nilai biaya tetap, biaya tidak tetap, biaya operasional dan biaya pokok dari penerapan metode pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS. Submodel optimalisasi pemanfaatan TKKS menggunakan metode GP-AHP untuk memformulasikan fungsi tujuan dan fungsi kendala dalam optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS. Kemudian, dilakukan penentuan nilai optimal dari variabel-variabel pada fungsi-fungsi tersebut dengan menggunakan *software LINDO* yang telah terintegrasi dalam program PW Optima 1.0. Nilai optimal yang dihasilkan dianalisis untuk menghasilkan keluaran berupa rekomendasi metode pengolahan dan penerapan yang dapat diterapkan secara optimal. Pada Gambar 4 disajikan tampilan menu utama program PW Optima 1.0



Gambar 4. Tampilan form menu utama program PW Optima 1.0

Pemodelan Fungsi Optimasi

Pemodelan fungsi optimasi dilakukan menggunakan metode GP yang dikombinasikan dengan metode AHP. Analisis GP bertujuan untuk meminimumkan jarak antara atau deviasi terhadap tujuan, target atau sasaran yang telah ditetapkan dengan usaha yang dapat ditempuh untuk mencapai target atau tujuan tersebut secara memuaskan sesuai dengan syarat-ikatan yang ada, yang membatasinya berupa sumber daya yang tersedia, teknologi yang ada, kendala tujuan dan sebagainya (Nasendi dan Anwar, 1985).

Model matematis GP yang dikombinasikan dengan hasil analisis AHP dapat dirumuskan sebagai berikut (Badri, 2001) :

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m DB_i + DA_i + \sum_{k=1}^m w_k DC_k + w_k DD_k$$

ST

$$a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + DB_1 - DA_1 = b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + DB_2 - DA_2 = b_2$$

$$\dots$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n + DB_m - DA_m = b_m$$

dan

$$X_j, DA_i, DB_i, DC_k, DD_k, \text{ dan } w_k \geq 0, \text{ untuk } i \text{ dan } k = 1, 2, \dots, m$$

Keterangan :

X_j = Variabel keputusan atau sub tujuan

a_{mn} = Koefisien variabel keputusan

b_m = Tujuan atau target yang ingin dicapai

DB_i = Variabel deviasi bawah/negatif dari tujuan/target ke-i

DA_i = Variabel deviasi atas/positif dari tujuan/target ke-i

w_k = bobot relatif deviasi (pada pendekatan AHP)

DC_k = Variabel deviasi bawah/negatif dari tujuan/target ke-k (pada pendekatan AHP)

DD_k = Variabel deviasi atas/positif dari tujuan/target ke-k (pada pendekatan AHP)

Menurut Siswanto (2007), dalam pemodelan GP, terdapat tiga jenis sasaran yang dapat diformulasikan, yaitu sasaran-sasaran dengan prioritas yang sama, sasaran-sasaran dengan prioritas yang berbeda serta sasaran-sasaran dengan prioritas dan bobot yang berbeda. Pada penelitian ini, jenis sasaran yang digunakan dalam pemodelan fungsi optimasi dengan GP adalah sasaran-sasaran dengan prioritas dan bobot yang berbeda. Untuk menentukan prioritas dan nilai bobot dari suatu sasaran yang ingin dicapai, digunakanlah metode AHP. Kombinasi antara metode GP dan AHP telah banyak digunakan oleh para peneliti di dunia, khususnya dalam penyelesaian masalah dan pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tujuan dengan sifat yang saling berlawanan (*multiple and conflicting goals*).

Secara umum, tahap pengembangan model *goal programming* pada optimalisasi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit dapat dibagi menjadi empat tahapan, yaitu :

1. Tahap identifikasi peubah keputusan
2. Tahap identifikasi fungsi tujuan
3. Tahap pemodelan kendala-kendala
4. Tahap formulasi fungsi tujuan

Identifikasi peubah keputusan

Peubah keputusan yang digunakan merepresentasikan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang sesuai dengan model sistem yang telah dirancang. Nilai peubah keputusannya yaitu berupa nilai kapasitas olah TKKS yang optimal sehingga sasaran optimalisasi pemanfaatan limbah PKS dapat tercapai. Peubah keputusan yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Peubah keputusan yang dicari dalam model optimasi

Metode pengolahan	Peubah keputusan	Simbol
Mulsa	Jumlah TKKS (ton/tahun) yang dimanfaatkan sebagai mulsa	X_5
Teknologi kompos	Jumlah TKKS (ton/tahun) yang diolah dengan teknologi kompos	X_6

Identifikasi Fungsi Tujuan

Pendekatan ketersediaan sumberdaya

Pada penelitian ini, perumusan tujuan dari optimalisasi pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit diperoleh dari hasil proses analisa kebutuhan *stakeholders* sistem penanganan limbah PKS sebagai salah satu tahapan pendekatan sistem yang dilakukan. *Stakeholders* yang berperan dalam usaha optimalisasi pemanfaatan limbah PKS terdiri dari pihak industri kelapa sawit, pihak peneliti (litbang) dan perguruan tinggi, pihak pemerintah serta pihak masyarakat.

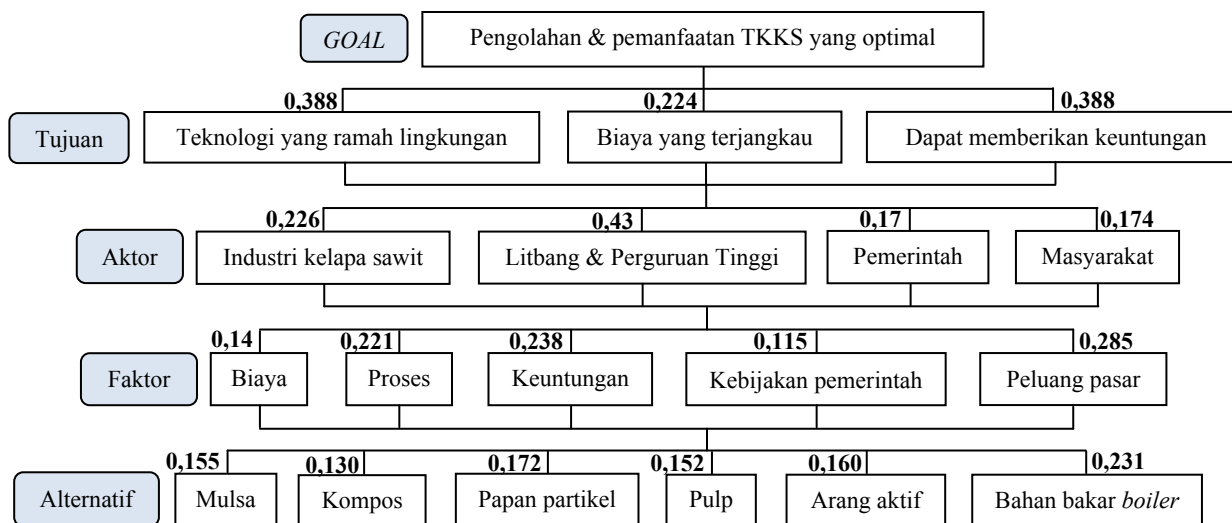
Berdasarkan hasil analisa kebutuhan, dapat disimpulkan bahwa tujuan dari optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit secara umum yaitu sebagai berikut :

- teknologi penanganan limbah pabrik kelapa sawit yang ramah terhadap lingkungan yang berarti dapat meminimalkan dampak negatif (pencemaran) terhadap lingkungan.
- meminimasi biaya penerapan teknologi penanganan limbah pabrik kelapa sawit.
- teknologi penanganan limbah pabrik kelapa sawit yang dapat memberikan keuntungan dalam pemanfaatan hasil olahannya.

Pendekatan AHP

Penggunaan metode AHP dalam perumusan model fungsi optimasi dengan metode *goal programming* bertujuan agar penerapan prioritas sasaran dengan cara pembobotan dapat dilakukan pada saat proses penghitungan nilai optimasi. Dengan kata lain, penggunaan nilai bobot hasil analisis AHP dapat membuat kriteria dan alternatif yang menjadi prioritas yang lebih tinggi akan memiliki peluang untuk terpilih (diterapkan) lebih besar daripada kriteria dan alternatif yang berada di prioritas yang lebih rendah.

Pada penelitian ini, yang menjadi kriteria adalah tujuan/sasaran dari optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS, yaitu meminimalkan biaya pengolahan dan pemanfaatan, meminimalkan tingkat pencemaran lingkungan dan memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dari pemanfaatan. Sedangkan yang menjadi alternatif adalah metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS. Kemudian, kriteria dan alternatif tersebut disusun menjadi suatu struktur hierarki AHP optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS. Struktur hierarki AHP optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS yang dikembangkan terdiri lima elemen struktur hierarki pengolahan dan pemanfaatan limbah PKS yang optimal, yaitu elemen *goal*, tujuan, aktor, faktor dan alternatif. Struktur hierarki AHP optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan limbah padat PKS (termasuk TKKS) disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur hierarki AHP optimalisasi pemanfaatan limbah padat PKS dan hasil analisis AHP-nya

Formulasi persamaan kendala

Pendekatan ketersediaan sumberdaya

- Kendala sasaran biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS

$$mX_5 + nX_6 + pX_7 + qX_8 + DM - DN = F$$

Keterangan :

- m = biaya penerapan 1 ton TKKS sebagai mulsa
- n = biaya pengolahan 1 ton TKKS menjadi kompos
- p = biaya aplikasi 1 ton kompos TKKS di lahan perkebunan
- q = biaya penjualan 1 ton kompos TKKS ke pihak lain
- X₇ = jumlah kompos TKKS yang diaplikasikan di lahan perkebunan
- X₈ = jumlah kompos TKKS yang dijual ke pihak lain
- DM = deviasi bawah kendala biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS
- DN = deviasi atas kendala biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS
- F = alokasi biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang disediakan oleh perusahaan

Perusahaan ingin meminimumkan biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS agar tidak melebihi anggaran biaya yang telah sediakan (DN akan diminimumkan).

- Kendala sasaran pemanfaatan seluruh tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

$$X_5 + X_6 + DO - DP = G$$

Keterangan :

- D = deviasi bawah kendala pengolahan dan pemanfaatan seluruh TKKS
- O = deviasi atas kendala pengolahan dan pemanfaatan seluruh TKKS
- DP = deviasi atas kendala pengolahan dan pemanfaatan seluruh TKKS
- G = jumlah TKKS yang dihasilkan tiap tahun

Perusahaan ingin mengolah dan memanfaatkan TKKS yang dihasilkan oleh PKS dengan kapasitas yang semaksimal mungkin (DO dan DP akan diminimumkan).

- Kendala sasaran keuntungan pemanfaatan TKKS

$$rX_{52} + sX_{53} + tX_{54} + uX_{61} + vX_{62} + wX_{63} + yX_8 + DQ - DR = F$$

Keterangan :

- r = keuntungan memanfaatkan 1 ton TKKS sebagai mulsa pada lahan dengan tanaman kelapa sawit TBM 2
- s = keuntungan memanfaatkan 1 ton TKKS sebagai mulsa pada lahan berpasir dengan tanaman kelapa sawit TM
- t = keuntungan memanfaatkan 1 ton TKKS sebagai mulsa pada lahan mineral normal dengan tanaman kelapa sawit TM
- u = keuntungan memanfaatkan 1 ton kompos TKKS pada lahan dengan tanaman kelapa sawit TBM 1

- v = keuntungan memanfaatkan 1 ton kompos TKKS pada lahan dengan tanaman kelapa sawit TBM 2
- w = keuntungan memanfaatkan 1 ton kompos TKKS pada lahan dengan tanaman kelapa sawit TM
- y = keuntungan yang diperoleh dengan menjual tiap ton kompos TKKS
- X₅₂ = jumlah TKKS yang dimanfaatkan sebagai mulsa pada lahan yang ditanami TBM 2
- X₅₃ = jumlah TKKS yang dimanfaatkan sebagai mulsa pada lahan berpasir yang ditanami TM
- X₅₄ = jumlah TKKS yang dimanfaatkan sebagai mulsa pada lahan mineral normal yang ditanami TM
- X₆₁ = jumlah kompos TKKS yang dimanfaatkan pada lahan yang ditumbuhi TBM 1
- X₆₂ = jumlah kompos TKKS yang dimanfaatkan pada lahan yang ditumbuhi TBM 2
- X₆₃ = jumlah kompos TKKS yang dimanfaatkan pada lahan yang ditumbuhi TM
- DQ = deviasi bawah kendala nilai tambah (keuntungan) pemanfaatan TKKS
- DR = deviasi atas kendala nilai tambah (keuntungan) pemanfaatan TKKS

Perusahaan ingin mengolah TKKS yang dihasilkan dengan metode pengolahan dan metode pemanfaatan tertentu sehingga dapat menghasilkan nilai tambah (keuntungan) yang dapat menutupi total biaya yang dibutuhkan untuk penerapan metode pengolahan dan pemanfaatan tersebut (DQ akan diminimumkan).

- Kendala pembatas

- Luas lahan perkebunan yang ditanami kelapa sawit dengan umur tanaman tertentu
 $L_{51} \leq H_1 ; L_{52} \leq I_1 ; L_{53} \leq J ; L_{54} \leq N$
 $L_{61} \leq H_2 ; L_{62} \leq I_2 ; L_{63} \leq P$
- Kesesuaian antara TKKS dan pemanfaatannya sebagai mulsa
 $X_5 - M_{51}L_{51} - M_{52}L_{52} - M_{53}L_{53} - M_{54}L_{54} = 0$
- Kesesuaian antara kompos TKKS dan pemanfaatannya di lahan
 $X_7 - K_{61}L_{61} - K_{62}L_{62} - K_{63}L_{63} = 0$
- Kesesuaian antara mulsa yang dimanfaatkan dan luas lahan yang ditanami kelapa sawit berumur tertentu
 $M_{51}L_{51} - X_{51} = 0$
 $M_{52}L_{52} - X_{52} = 0$
 $M_{53}L_{53} - X_{53} = 0$
 $M_{54}L_{54} - X_{54} = 0$

- Kesesuaian antara kompos yang dimanfaatkan dan luas lahan yang ditanami kelapa sawit berumur tertentu

$$K_{61}L_{61} - X_{61} = 0$$

$$K_{62}L_{62} - X_{62} = 0$$

$$K_{63}L_{63} - X_{63} = 0$$

- Kesesuaian jumlah kompos

$$Y_k X_6 - X_7 - X_8 = 0$$

- Kendala hubungan antara variabel keputusan pendekatan sumberdaya dengan pendekatan AHP

$$X_5 - GY_5 \leq 0$$

$$X_6 - GY_6 \leq 0$$

Keterangan :

- L_{51} = luas lahan TBM 1 yang diaplikasikan mulsa
- L_{52} = luas lahan TBM 2 yang diaplikasikan mulsa
- L_{53} = luas lahan (berpasir) TM yang diaplikasikan mulsa
- L_{54} = luas lahan (normal) TM yang diaplikasikan mulsa
- L_{61} = luas lahan TBM 1 yang diaplikasikan kompos
- L_{62} = luas lahan TBM 2 yang diaplikasikan kompos
- L_{63} = luas lahan TM yang diaplikasikan kompos
- H_1 = luas lahan perkebunan dengan TBM 1 yang dipertimbangkan untuk diaplikasikan mulsa
- H_2 = luas lahan perkebunan dengan TBM 1 yang dipertimbangkan untuk diaplikasikan kompos TKKS
- I_1 = luas lahan perkebunan dengan TBM 2 yang dipertimbangkan untuk diaplikasikan mulsa
- I_2 = luas lahan perkebunan dengan TBM 2 yang dipertimbangkan untuk diaplikasikan kompos
- J = luas lahan perkebunan (sifat lahan berpasir) dengan TM yang dipertimbangkan untuk aplikasi mulsa
- N = luas lahan perkebunan (sifat lahan normal) dengan TM yang dipertimbangkan untuk aplikasi mulsa
- P = luas lahan perkebunan dengan TM yang dipertimbangkan untuk diaplikasikan kompos TKKS
- M_{51} = jumlah TKKS yang diaplikasikan sebagai mulsa pada 1 ha lahan TBM 1
- M_{52} = jumlah TKKS yang diaplikasikan sebagai mulsa pada 1 ha lahan TBM 2
- M_{53} = jumlah TKKS yang diaplikasikan sebagai mulsa pada 1 ha lahan (berpasir) TM
- M_{54} = jumlah TKKS yang diaplikasikan sebagai mulsa pada 1 ha lahan (normal) TM
- K_{61} = jumlah kompos TKKS yang

diaplikasikan pada 1 ha lahan TBM 1

K_{62} = jumlah kompos TKKS yang diaplikasikan pada 1 ha lahan TBM 2

K_{63} = jumlah kompos TKKS yang diaplikasikan pada 1 ha lahan TM

X_{51} = jumlah TKKS yang dimanfaatkan sebagai mulsa pada lahan yang ditanami TBM 1

Y_k = tingkat konversi TKKS menjadi kompos

Pendekatan AHP

Berdasarkan struktur hirarki AHP untuk optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang ditunjukkan pada Gambar 5, maka fungsi persamaan kendala sasaran berdasarkan pendekatan AHP yaitu sebagai berikut :

Nilai global AHP untuk TKKS :

$$S_{AHP.X5} = (TP_1MTP_1) + (TP_2MTP_2) + (TP_3MTP_3)$$

$$S_{AHP.X6} = (TP_1KTP_1) + (TP_2KTP_2) + (TP_3KTP_3)$$

Persamaan kendala sarannya :

$$S_{AHP.X5} + S_{AHP.X6} + DS - DT = TS \text{ (Min : DS)}$$

Nilai lokal AHP untuk TKKS :

- Nilai lokal AHP berdasarkan tujuan ramah lingkungan:

$$MTP_1Y_5 + KTP_1Y_6 + DU_1 - DV_1 = T_{TP1}$$

(Min : DU_1)

- Nilai lokal AHP berdasarkan tujuan biaya terjangkau:

$$MTP_2Y_5 + KTP_2Y_6 + DU_2 - DV_2 = T_{TP2}$$

(Min : DU_2)

- Nilai lokal AHP berdasarkan tujuan memperoleh keuntungan:

$$MTP_3Y_5 + KTP_3Y_6 + DU_3 - DV_3 = T_{TP3}$$

(Min : DU_3)

Keterangan :

$S_{AHP.Xi}$ = Nilai total pencapaian sasaran/tujuan TP_j apabila menerapkan metode pengolahan i

TP_j = Nilai bobot sasaran/tujuan j

MTP_j = Nilai bobot pencapaian sasaran/tujuan j apabila menerapkan metode mulsa

KTP_j = Nilai bobot pencapaian sasaran/tujuan j apabila menerapkan metode teknologi kompos

DS = deviasi bawah (ketidaktercapaian nilai global AHP)

DT = deviasi atas (nilai global AHP yang terlewati)

TS = Nilai global AHP yang merupakan jumlah dari $S_{AHP.Xi}$

T_{TPj} = Nilai lokal atau pencapaian sasaran/tujuan j apabila menerapkan metode pengolahan TKKS tertentu

DU_j = deviasi bawah (ketidaktercapaian nilai T_{TPj})

DV_j = deviasi atas (nilai T_{TPj} yang terlewati)

dengan i :

- 5 = Metode mulsa
- 6 = Metode teknologi kompos,

dengan j :

- 1 = Teknologi penanganan LCPKS yang ramah lingkungan
- 2 = Biaya penanganan LCPKS yang terjangkau
- 3 = Penanganan LCPKS yang dapat memberikan keuntungan

Formulasi Fungsi Tujuan

Fungsi persamaan tujuan yang dibentuk merupakan penjumlahan dari nilai deviasi pada fungsi-fungsi persamaan kendala sasaran yang harus diminimumkan agar sasaran yang dimaksud dapat atau mendekati tercapai. Fungsi persamaan tujuan optimalisasi pemanfaatan TKKS dapat dirumuskan sebagai berikut :

Minimumkan Y =

$$DN + DO + DP + DQ + DS + TP_1 DU_1 + TP_2 DU_2 + TP_3 DU_3$$

Semakin besar nilai TP_j maka tujuan/sasaran j tersebut memiliki prioritas yang lebih besar untuk dicapai lebih dahulu daripada tujuan/sasaran lain yang memiliki nilai TP_j yang bernilai lebih kecil.

Verifikasi Program PW Optima 1.0

Data masukan (input)

Data masukan (input) yang diperlukan dalam tahap verifikasi program PW Optima 1.0 yaitu :

- a. Nilai koefisien pada variabel-variabel fungsi kendala yang diformulasikan melalui pendekatan sumberdaya. Nilai-nilai tersebut diperoleh dari hasil wawancara dengan pakar serta literatur pendukung.
- b. Nilai koefisien pada variabel-variabel fungsi kendala yang diformulasikan melalui pendekatan AHP. Nilai-nilai tersebut diperoleh dari hasil analisis AHP terhadap hasil pengisian kuesioner yang dikembangkan dari struktur hierarki AHP pada Gambar 5. Penghitungan nilai bobot ini dilakukan dengan bantuan *software expert choice*. Kuesioner AHP diisi oleh pakar yang memahami tentang penanganan limbah PKS. Nilai-nilai koefisien variabel pada fungsi kendala dan fungsi tujuan yang disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Setelah memasukkan data-data tersebut, fungsi tujuan dan fungsi kendala yang terbentuk dalam program PW Optima 1.0 yaitu sebagai berikut :

Fungsi tujuan :

$$MIN \quad DN + DO + DP + DQ + DS + 0,388 DU_1 + 0,224 DU_2 + 0,388 DU_3$$

Fungsi kendala sasaran :

$$8682 X_5 + 110.249 X_6 + 8682 X_7 + 27.000 X_8 + DM - DN = 3.500.000.000$$

$$X_5 + X_6 + DO - DP = 38700$$

$$35.281 X_{52} + 18.506 X_{53} + 26.437 X_{54} + 75.023 X_{61} + 78.501 X_{62} + 69.677 X_{63} + 202.501 X_8 + DQ - DR = 3.500.000.000$$

$$0,155104 Y_5 + 0,130552 Y_6 + DS - DT = 0,285656$$

$$0,157 Y_5 + 0,131 Y_6 + DU_1 - DV_1 = 0,288$$

$$0,152 Y_5 + 0,129 Y_6 + DU_2 - DV_2 = 0,281$$

$$0,155 Y_5 + 0,131 Y_6 + DU_3 - DV_3 = 0,286$$

Fungsi kendala pembatas :

$$L_{51} \leq 100$$

$$L_{52} \leq 200$$

$$L_{53} \leq 50$$

$$L_{54} \leq 100$$

$$L_{61} \leq 80$$

$$L_{62} \leq 80$$

$$L_{63} \leq 80$$

$$X_5 - 25 L_{51} - 25 L_{52} - 50 L_{53} - 35 L_{54} = 0$$

$$X_7 - 6,12 L_{61} - 9,93 L_{62} - 11,97 L_{63} = 0$$

$$25 L_{51} - X_{51} = 0$$

$$25 L_{52} - X_{52} = 0$$

$$50 L_{53} - X_{53} = 0$$

$$35 L_{54} - X_{54} = 0$$

$$6,12 L_{61} - X_{61} = 0$$

$$9,93 L_{62} - X_{62} = 0$$

$$11,97 L_{63} - X_{63} = 0$$

$$0,5 X_6 - X_7 - X_8 = 0$$

$$X_5 - 38.700 Y_5 \leq 0$$

$$X_6 - 38.700 Y_6 \leq 0$$

dengan nilai seluruh variabel adalah ≥ 0 , kecuali nilai variabel Y_5 dan Y_6 yang memiliki nilai 0 atau 1.

Fungsi tujuan dan kendala yang telah terbentuk, kemudian dihitung nilai optimalnya dengan bantuan LINDO yang telah terintegrasi dengan program PW Optima 1.0.

Tabel 2. Nilai koefisien variabel fungsi kendala dan tujuan optimalisasi pemanfaatan TKKS dengan pendekatan AHP

Nilai global AHP		
Tujuan/Sasaran	Koefisien	Nilai
Ramah lingkungan	TP1	0,388
Biaya terjangkau	TP2	0,224
Memperoleh keuntungan	TP3	0,388
Nilai lokal AHP		
Metode pemanfaatan Mulsa		
Tujuan/Sasaran	Koefisien	Nilai
Ramah lingkungan	MTP ₁	0,157
Biaya terjangkau	MTP ₂	0,152
Memperoleh keuntungan	MTP ₃	0,155
Metode pengolahan Teknologi Kompos		
Tujuan/Sasaran	Koefisien	Nilai
Ramah lingkungan	KTP ₁	0,131
Biaya terjangkau	KTP ₂	0,129
Memperoleh keuntungan	KTP ₃	0,131

Tabel 3. Nilai koefisien variabel fungsi kendala dan tujuan optimalisasi pemanfaatan TKKS dengan pendekatan sumberdaya

Simbol koefisien	Nilai	Sumber
Fungsi kendala sasaran		
m	8682	
n	110.249	
p	8682	
q	27.000	Hasil
r	35.281	penghitungan pada
s	18.506	model analisis
t	26.437	biaya penanganan
u	75.023	TKKS
v	78.501	
w	69.677	
y	202.501	
F	3.500.000.00	Hasil wawancara
	0	dengan pakar
G	38.700	
Fungsi kendala pembatas		
M ₁₅	25	
M ₂₅	25	Studi literatur :
M ₃₅	50	Pahan (2008)
M ₄₅	35	
K ₁₆	6,12	
K ₂₆	9,93	Asumsi
K ₃₆	11,97	
Y _k	0,5	Studi literatur : Schuchardt, <i>et al.</i> (2000)
H ₁	100	
H ₂	50	
I ₁	200	
I ₂	50	Asumsi
J	20	
N	40	
P	70	

Nilai keluaran (output)

Berikut nilai optimal dari variabel-variabel fungsi tujuan dan kendala yang diperoleh :

Y ₅	=	1	L ₆₁	=	50
Y ₆	=	1	L ₆₂	=	50
X ₅	=	10.979,89	L ₆₃	=	50
X ₆	=	27.720,11	DM	=	0
X ₇	=	1401	DN	=	0
X ₈	=	12.459,05	DO	=	0
X ₅₁	=	250	DP	=	0
X ₅₂	=	5000	DQ	=	563.193.408
X ₅₃	=	2229,89	DR	=	0
X ₅₄	=	3500	DS	=	0
X ₆₁	=	306	DT	=	0
X ₆₂	=	496,5	DU ₁	=	0
X ₆₃	=	598,5	DV ₁	=	0
L ₅₁	=	10	DU ₂	=	0
L ₅₂	=	200	DV ₂	=	0
L ₅₃	=	44,6	DU ₃	=	0
L ₅₄	=	100	DV ₃	=	0

Analisis nilai keluaran (output)

Program PW Optima 1.0 akan menganalisis nilai optimal dari variabel-variabel fungsi tujuan dan kendala, sehingga diperoleh rekomendasi sebagai berikut :

Untuk mengoptimalkan pengolahan dan pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan, maka pihak perusahaan disarankan untuk menerapkan langkah-langkah berikut :

- Perusahaan menerapkan metode mulsa untuk memanfaatkan 10.979,89 ton TKKS yang dihasilkan, dengan rincian pemanfaatan sebagai berikut :
 - 250 ton TKKS diaplikasikan di 10 ha lahan TBM 1
 - 5000 ton TKKS diaplikasikan di 200 ha lahan TBM 2
 - 2229,89 ton TKKS diaplikasikan di 44,6 ha lahan (berpasir) TM
 - 3500 ton TKKS diaplikasikan di 100 ha lahan (normal) TM
- Perusahaan menerapkan metode teknologi kompos untuk mengolah 27.720,11 ton TKKS yang dihasilkan.
- Sebanyak 1401 ton kompos TKKS yang dihasilkan kemudian diaplikasikan di lahan perkebunan dengan rincian sebagai berikut:
 - 306 ton kompos TKKS diaplikasikan di 50 ha lahan TBM 1
 - 496,5 ton kompos TKKS diaplikasikan di 50 ha lahan TBM 2
 - 598,5 ton kompos TKKS diaplikasikan di 50 ha lahan TM
- Sebanyak 12.459,05 ton kompos TKKS yang dihasilkan akan dijual/dipasarkan.

Dengan menerapkan keempat saran tersebut, maka pencapaian sasaran (*goal*) dari optimalisasi pemanfaatan TKKS yaitu sebagai berikut :

- Sasaran (*goal*) pertama, yaitu minimasi biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS, tercapai karena biaya pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang diperlukan sama dengan besarnya anggaran biaya yang disediakan perusahaan. Nilai variabel DN dapat diminimumkan hingga bernilai nol.
- Sasaran (*goal*) kedua, yaitu pengolahan dan pemanfaatan seluruh TKKS tercapai, yaitu sebanyak 38.700 ton TKKS dapat terolah/termanfaatkan. Nilai variabel DO dan DP dapat diminimumkan menjadi bernilai nol.
- Sasaran ketiga (*goal*), yaitu nilai keuntungan yang diperoleh dari pemanfaatan TKKS dapat sama dengan atau melebihi nilai anggaran biaya yang disediakan tidak tercapai. Hal ini karena nilai variabel DQ masih lebih besar dari nol, yaitu bernilai Rp 563.193.408. Nilai tersebut merupakan besaran nilai biaya penanganan TKKS yang belum bisa ditutupi oleh keuntungan yang diperoleh.

Validasi Program PW Optima 1.0

Teknik validasi yang digunakan terhadap model dasar program PW Optima 1.0 adalah teknik *face validity*. Menurut Sargent (2007), *face validity* merupakan teknik validasi yang dilakukan dengan menanyakan kepada pakar (orang yang

berkompeten) mengenai ketepatan model dan perilaku model yang dirancang. Pakar yang melakukan validasi mengecek ketepatan konsep logika dari model yang dirancang serta hubungan yang tepat dan rasional antara *input* dan *output* yang digunakan pada model. Pakar tersebut menilai bahwa model yang dikembangkan cukup dapat merepresentasikan faktor-faktor serta tahapan-tahapan yang dipertimbangkan dalam proses pemilihan metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS. Selain itu, model yang dikembangkan juga sesuai dengan informasi-informasi serta arahan yang mereka berikan kepada peneliti mengenai tahapan pengolahan dan pemanfaatan TKKS serta nilai-nilai manfaat yang dapat diperoleh dari kedua jenis limbah tersebut.

Implikasi Manajerial

Implikasi manajerial dari penerapan program PW Optima 1.0 bagi pihak industri kelapa sawit yaitu dapat membantu proses pengambilan keputusan dalam upaya optimalisasi pemanfaatan limbah PKS, khususnya dalam memilih metode penanganan TKKS. Program PW Optima 1.0 menggunakan data-data yang dapat diperbarui sesuai dengan kondisi yang ada pada saat program tersebut dipergunakan atau sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dari penggunaan program ini diharapkan dapat terpilihnya metode pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang dapat diterapkan dengan penggunaan biaya pengolahan dan pemanfaatan yang sesuai dengan yang disediakan oleh pihak perusahaan, tingkat pencemaran yang minimum dan diperolehnya keuntungan maksimum dari pemanfaatan TKKS yang telah diolah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Aplikasi dari metode *goal programming* yang dikombinasikan dengan metode AHP terbukti dapat dijadikan sebagai suatu alat bantu yang fleksibel pada proses pengambilan keputusan untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya yang digunakan dalam usaha mengoptimalkan pemanfaatan TKKS. Hal ini terlihat dari sudah benarnya hasil verifikasi dan validasi yang dilakukan terhadap model SPK optimalisasi pengolahan dan pemanfaatan TKKS yang kemudian dikembangkan menjadi program PW Optima 1.0.

Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan pada optimalisasi pemanfaatan limbah PKS yang pemanfaatan hasil pengolahan limbahnya tidak dilakukan oleh pihak PKS sendiri selain itu juga perlu dilakukan peremajaan data secara kontinyu agar keakuratan data dan informasi yang dipergunakan dalam penghitungan dapat lebih terjamin. Untuk penerapan model ini, masih

diperlukan penyesuaian dan diskusi lebih lanjut dengan pihak industri kelapa sawit, khususnya pada tahapan validasi model.

DAFTAR PUSTAKA

- [Anonim]. 2004. Analisis Finansial Pembangunan Pabrik Pupuk Organik dari Limbah Industri Kelapa Sawit di Pabrik Minyak Sawit Semuntai, PT. Surya Faster Growing, Kecamatan Long Ikis, Kabupaten Pasir, Kalimantan Timur. PT. Surya Faster Growing, Jakarta.
- [Anonim]. 2006. Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Subdit Pengelolaan Lingkungan, Ditjen PPHP, Deptan. <http://www.agribisnis.deptan.go.id>. [15 Januari 2009].
- Armino R. 2006. Penentuan Kapasitas Optimal Produksi CPO (*Crude Palm Oil*) di Pabrik Kelapa Sawit PT. Andira Agro dengan Menggunakan *Goal Programming*. [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Badri MA. 2001. A Combined AHP-GP for Quality Control Systems. *Int. J Prod Econ* 72 : 27 - 40.
- Bertolini M dan Bevilacqua M. 2005. A Combined GP-AHP Approach to Maintenance Selection Problem. *Reliability Engineering System Safety* 91 : 839 – 848.
- Buana L, Darnoko D, Guritno P, Herawan T. 2000. Penanganan Terpadu Limbah Industri kelapa Sawit yang Berwawasan Lingkungan : Analisis Biaya Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah. *Pertemuan Teknis Kelapa Sawit – 11*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2008. Statistik Pertanian 2008. Jakarta: Departemen Pertanian.
- Nasendi BD dan Anwar A. 1985. Program Linier dan Variasinya. Jakarta : PT. Gramedia.
- Pahan I. 2008. Panduan Lengkap Kelapa Sawit : Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sargent RG. 2007. Verification and Validation of Simulation Models. Di dalam *Prosiding of Winter Simulation Conference.*, ed. S. G. Henderson, B. Biller, M. H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew, dan R. R. Barton. Piscataway, New Jersey: IEEE.
- Sari ET. 2008. Pembukaan Lahan Kelapa Sawit Untuk Perbaikan Taraf Hidup Rakyat dan Isu Pemanasan Global : Pendekatan Utilitarian Pada Agribisnis. *The 2nd National Conference UKWMS*. Surabaya.
- Schuchardt F, Balcke S, Becker F, Guritno P, Herawan T, Darnoko D, Erwinsyah. 2000. Penanganan Terpadu Limbah Industri kelapa Sawit yang Berwawasan Lingkungan : Produksi Kompos dari Tandan Kosong Sawit. *Pertemuan Teknis*

- Kelapa Sawit Ke 11*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Siswanto. 2007. *Operation Research*. Jakarta: Erlangga.
- Taniwiryono D. 2009. Perkembangan Teknologi Pupuk Organik dan Pupuk Hayati untuk Antisipasi terhadap Perubahan Iklim di Perkebunan. Bogor: Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.
- Weng WP dan Kandiah S. 2007. Emerging Trends in Palm Oil Milling Technology. Di dalam *Proceedings of Chemistry and Technology Conference PIPOC 2007, Kuala Lumpur*. 31 September 2007.