

RANCANG BANGUN MODEL PRODUKSI BERSIH KEBUN KELAPA SAWIT

**Studi kasus di Kebun Kelapa Sawit Kertajaya, Banten dan
Kebun Kelapa Sawit Bah Jambi, Sumatera Utara**

Luqman Erningpraja dan Z. Poeloengan

ABSTRAK

Limbah perkebunan kelapa sawit dalam bentuk gas, limbah padat, dan limbah cair berpotensi menyebabkan polusi bila tidak dikelola dengan baik. Untuk mengelola limbah yang diproduksi oleh kebun kelapa sawit, diperlukan suatu sistem kontrol yang meliputi pengelolaan pembukaan lahan, pemeliharaan dan panen tandan buah segar di lapang, serta pengolahan minyak sawit mentah dan minyak inti sawit termasuk unit pengolahan limbah. Di sisi lain, limbah dalam bentuk serat, cangkang, tandan kosong sawit, batang, pelepah, dan limbah cair hingga saat ini belum dapat dimanfaatkan secara optimum. Berdasarkan kenyataan yang ada, program produksi bersih di perkebunan kelapa sawit sangat diperlukan untuk memperbaiki efisiensi dan efektifitas penggunaan bahan baku, pemanfaatan energi dan sumber daya lain, guna mewujudkan kepercayaan konsumen domestik maupun internasional terhadap komoditi kelapa sawit. Secara operasional, produksi bersih di perkebunan kelapa sawit merupakan suatu upaya untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam penggunaan bahan baku, energi, dan sumber daya lainnya, mengurangi volume dan toksisitas limbah yang dihasilkan, dan mendaur ulang limbah yang dihasilkan pada proses produksi. Tujuan utama penelitian adalah untuk merancang bangun model produksi bersih pada perkebunan kelapa sawit. Model dijalankan dengan beberapa asumsi dan empat komponen input utama, yaitu kerapatan tanam, efektifitas pemupukan dan daur ulang hara N, P_2O_5 , K_2O , dan MgO , potensi produksi berdasarkan kelas kesesuaian lahan S1, serta efektifitas pabrik kelapa sawit. Selanjutnya, model produksi bersih tersebut diverifikasi dengan data aktual yang diperoleh dari kebun kelapa sawit Kertajaya, Banten, dan kebun kelapa sawit Bah Jambi, Sumatera Utara. Analisis sistem dilakukan dengan menggunakan Stella versi 4.0.2 dari High Performance System, Inc, Hanover, Canada, 1996.

Kata kunci : kebun kelapa sawit, produksi bersih

PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil perhitungan diemukakan bahwa setiap ton tandan buah segar (TBS) yang diolah di pabrik kelapa sawit (PKS) akan ikut dihasilkan 1 m³ limbah cair, 0,2 ton tandan kosong basah, 0,13 ton serat buah kering, dan 0,05 ton tempurung kering (13), yang berpeluang menjadi bahan pencemar lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Selain

itu masih terdapat beberapa Kebun Kelapa Sawit (KKS) yang melakukan pembakaran dalam pembukaan lahan maupun pematangan, sehingga menjadi sumber pencemar udara. Pembakaran hutan yang serentak dan luas pada tahun 1991, 1994 dan 1997 di Sumatera dan Kalimantan mengakibatkan pencemaran udara yang serius bagi wilayah Asia Tenggara dan Australia (14). Untuk meningkatkan peranan perkebunan, maka KKS dituntut

untuk dapat melaksanakan program produksi bersih.

Program produksi bersih (*cleaner production*) mulai dimasyarakatkan di Indonesia pada tahun 1993, sebagai strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan integratif serta perlu diimplementasikan secara berkesinambungan dalam proses produksi dan daur ulang produksi. Upaya pokok dari implementasi produksi bersih adalah mencegah, mengurangi dan mengeliminasi limbah atau pencemaran (3).

Tujuan utama dari penelitian adalah membuat rancang bangun model produksi bersih kebun kelapa sawit, dan selanjutnya model diverifikasi dengan data faktual dari KKS Kertajaya dan KKS Bah Jambi.

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan KKS dan lingkungannya untuk saat ini dan mendatang, yang mengacu pada perlindungan lingkungan, sehingga kepercayaan konsumen domestik maupun internasional dapat terwujud dengan baik. Selanjutnya hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi pengambil kebijakan mengenai kondisi KKS di Indonesia, serta peranan dan dampak setiap kegiatan dari seluruh proses produksi KKS dalam melestarikan lingkungan di sekitarnya.

METODOLOGI

Penelitian mulai dilaksanakan selama 16 bulan. Sumber data faktual diperoleh dari KKS Kertajaya PTPN VIII, Kabupaten Lebak, Banten (1.592,24 ha) dan di KKS Bah Jambi PTPN IV, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara (5.961 ha). Data dikumpulkan dari 3 subsistem KKS, yaitu meliputi subsistem pembukaan lahan,

subsistem pemeliharaan dan produksi TBS di kebun, serta subsistem proses produksi miryak dan inti sawit di pabrik serta unit pengelolaan limbah (UPL). Asumsi yang diterapkan berdasarkan hasil penelitian pada ke 3 subsistem tersebut, yang sebagian sudah menjadi standar kultur teknis kelapa sawit.

Untuk mengkaji pengelolaan KKS terutama dalam menerapkan produksi bersih, serta membangun suatu model simulasi yang menggambarkan respons produksi bersih KKS terhadap lingkungan di sekitarnya, maka penelitian ini menggunakan pendekatan utama, yaitu metode analisis sistem dan permodelan. Analisis sistem dilakukan dengan menggunakan *Paket Program Stella versi 4.0.2.* dari *High Performance System, Inc.* Hanover, Canada, 1996.

Penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap yaitu: (1) membuat rancang bangun model yang menggambarkan pengelolaan produksi bersih KKS Baik, KKS Sedang dan KKS Kurang; (2) melakukan verifikasi model dengan data faktual dari KKS Kertajaya dan KKS Bah Jambi. Untuk mengukur ketepatan hasil simulasi, maka salah satu alat ukur yang dapat digunakan untuk menguji model yang telah dikembangkan, adalah nilai tengah kuadrat dari persen galat (*root mean-square percent error = RMSPE*), dengan rumus (4):

$$RMSPE = \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s - Y_t^a / Y_t^a)^2 \right]^{1/2}$$

Keterangan :

T = jumlah pengamatan,

Y_t^s = nilai ramalan (simulasi),

Y_t^a = nilai pengamatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

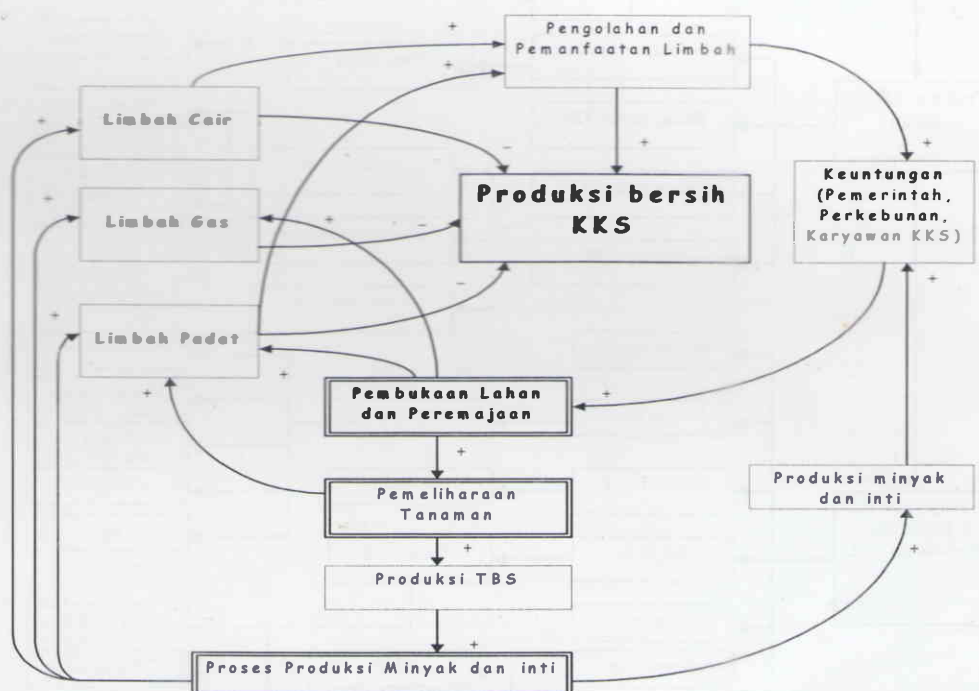
Sistem produksi bersih pada perkebunan kelapa sawit

Model produksi bersih KKS telah dibangun secara lengkap mulai dari pembukaan lahan, pemeliharaan tanaman dan produksi TBS serta pengolahan minyak dan inti sawit (Gambar 1).

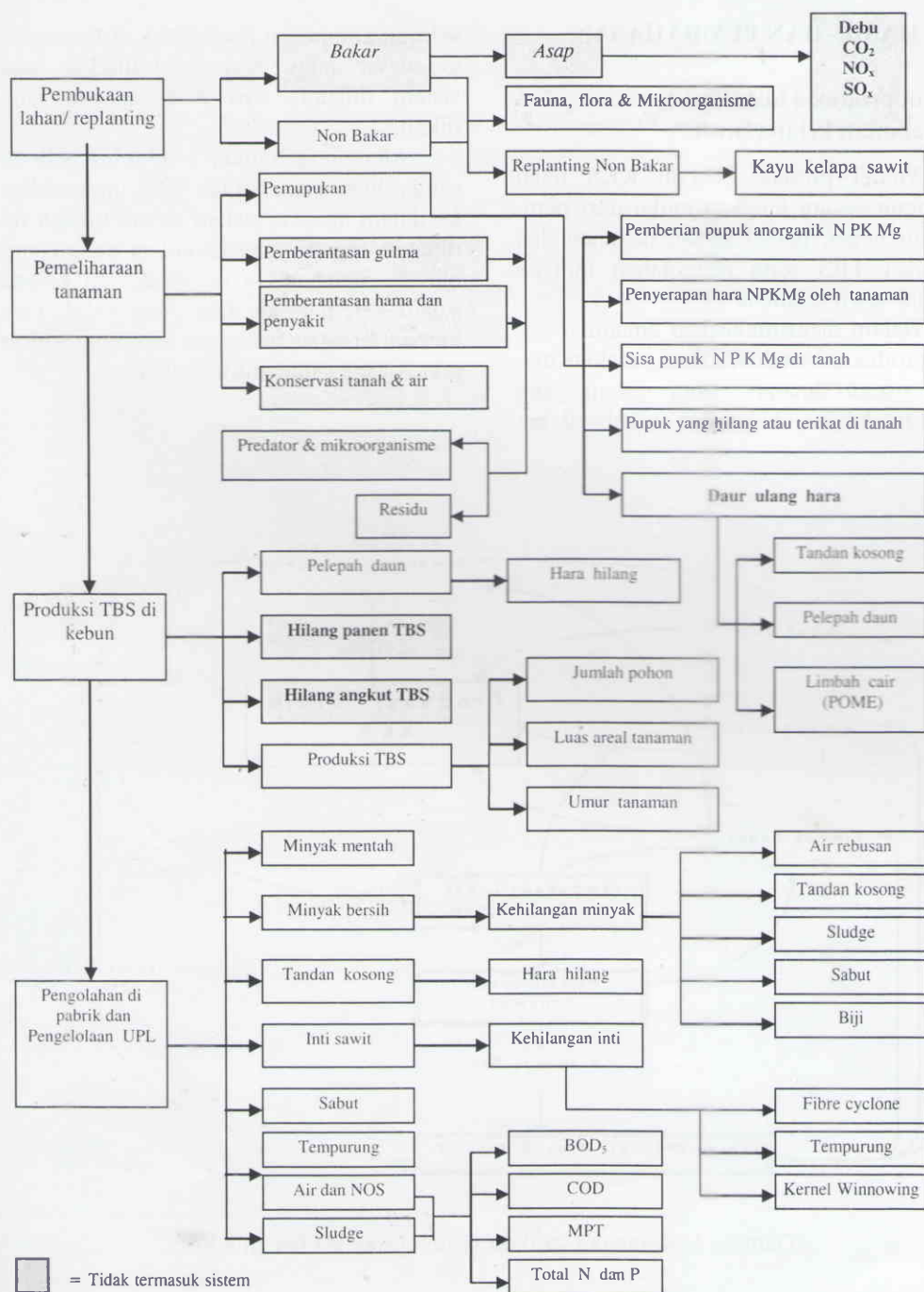
Dalam mensimulasikan dinamika sistem produksi bersih KKS, digunakan metode sistem dinamis, yaitu sistem yang menggambarkan hubungan sebab akibat

seluruh komponen pembentuk sistem sebagai dasar untuk memahami tingkah laku sistem dinamis dari 3 subsistem yang dikaji.

Mengingat lingkup produksi bersih ini sangat luas, maka kajian yang dimasukkan ke dalam analisis sistem dalam tulisan ini dibatasi seperti yang disajikan pada Gambar 2. Pembatasan ini dilakukan karena selain keterbatasan data yang valid, juga karena terdapat beberapa teknologi kultur teknis yang sudah ditinggalkan.



Gambar 1. Kerangka struktur sistem produksi bersih KKS



Gambar 2. Batasan sistem produksi bersih KKS

Model produksi bersih KKS dirancang dengan beberapa asumsi pokok dan berdasarkan 4 komponen ideal sebagai masukan utama, yaitu: (1) kerapatan tanaman 130 pohon/ha; (2) efektivitas pemupukan dan daur ulang untuk hara N, P_2O_5 , K_2O dan MgO secara berturut-turut 55 %, 30 %, 80 % dan 80 %; (3) potensi produksi kelas lahan S1 (sangat sesuai); (4) efektivitas pengolahan pabrik 100 %, yaitu rendemen minyak dan inti masing-masing sebesar 22,5 % dan 5,5 % serta kehilangan minyak dan inti maksimum sebesar 1,23 % dan 0,27 %. Berdasarkan asumsi pokok dan 4 komponen ideal, dirancang dan dioperasikan Model Produksi Bersih KKS Baik, KKS Sedang dan KKS Kurang, dengan kisaran nilai berturut-turut 85-100 %, 70-84 % dan 55-69 % dari nilai komponen ideal (Tabel 1).

Dari setiap kisaran nilai persentase yang dibuat pada skenario pengelolaan kebun kelapa sawit, maka ditetapkan nilai

persentase untuk KKS Baik, KKS Sedang dan KKS Kurang, secara berturut-turut adalah 90 %, 75 % dan 60 %. Dengan demikian jumlah kombinasi yang diperoleh untuk pengelolaan KKS adalah sebanyak 81 kombinasi skenario.

Untuk mempermudah dan memperjelas hasil model simulasi produksi bersih, maka dari 81 kombinasi skenario tersebut, hanya dibahas 3 kombinasi yang ekstrim, yaitu pengelolaan KKS baik (A1B1C1D1), pengelolaan KKS sedang (A2B2C2D2) dan pengelolaan KKS kurang (A3B3C3D3). Waktu simulasi yang digunakan dalam model produksi bersih KKS adalah selama 60 tahun, dengan tujuan agar diperoleh gambaran dinamika pengelolaan KKS dalam 2 siklus produksi. Beberapa keluaran dari model produksi bersih KKS secara kumulatif selama 25 tahun (1 siklus produksi) adalah sebagai berikut :

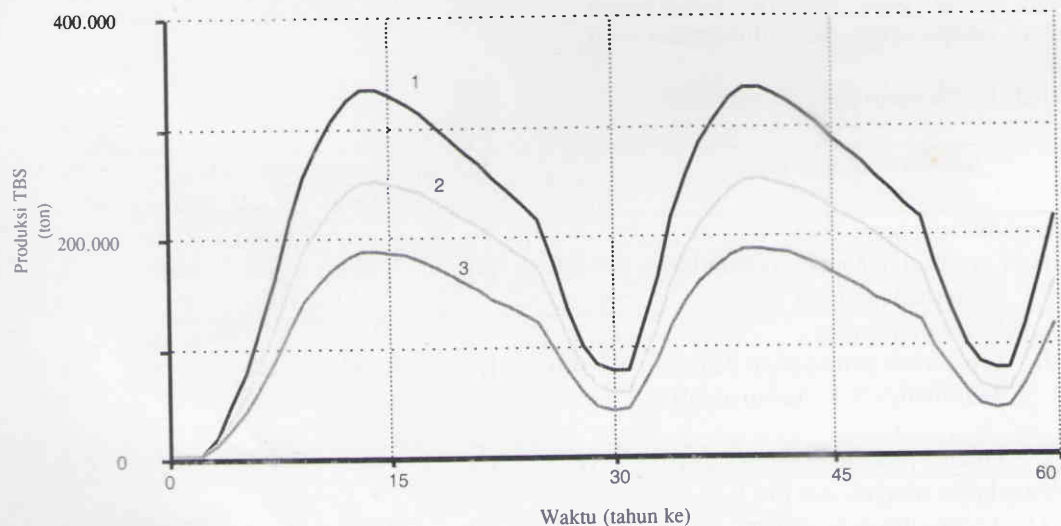
Tabel 1. Skenario pengelolaan KKS

Subsistem/komponen	Skenario pengelolaan KKS					
	Baik	Kode	Sedang	Kode	Kurang	Kode
Pembukaan lahan :						
A. Kerapatan tanaman (pohon/ha) (% terhadap ideal)	85-100	A1	70-84	A2	55-69	A3
Pemeliharaan tanaman :						
B. Efektivitas pemupukan dan daur ulang (% terhadap ideal)	85-100	B1	70-84	B2	55-69	B3
C. Potensi produksi (Kelas lahan)	S1	C1	S2	C2	S3	C3
Pengolahan minyak dan inti :						
D. Efektivitas pengolahan (processing) (% terhadap ideal)	85-100	D1	70-84	D2	55-69	D3

Perolehan kayu sawit pada akhir tahun ke 26 sampai tahun ke 31 untuk A1B1C1D1, A2B2C2D2 dan A3B3 C3D3 adalah berturut-turut 631.800 m³, 526.500 m³ dan 421.200 m³. Dengan asumsi harga kayu Rp 50.000,- per m³, maka nilai penjualan kayu hasil peremajaan ini cukup memadai yaitu secara berturut-turut Rp 32 milyar, Rp 26 milyar dan Rp 21 milyar. Selain kayu yang bermanfaat, dari hasil peremajaan ini dihasilkan juga limbah berupa kayu sawit yang tidak dapat dimanfaatkan (lunak) yang jumlahnya untuk A1B1C1D1, A2B2C2D2, dan A3B3C3D3 selama proses peremajaan (6 tahun) adalah sekitar 538.200 m³, 448.500 m³ dan 358.800 m³. Problem utama dari peremajaan tanpa bakar adalah adanya batang kayu yang besar yang berada di areal yang akan menjadi ancaman serius apabila tidak ditangani dengan baik. Sisa batang kayu

tersebut akan menjadi sarang utama hama ulat *Oryctes* dan *Rhynchophorus* yang akan membahayakan tanaman baru (12). Penanggulangan dengan cara menanam cover crop yang baik di atas sisa batang kelapa sawit dapat merangsang keberadaan predator hama tersebut, sehingga populasi hama dapat ditekan (18).

Produksi TBS kumulatif selama 1 siklus tanaman masing-masing untuk A1B1C1D1, A2B2C2D2 dan A3B3 C3D3 adalah 5.261.400 ton, 3.987.450 ton dan 2.925.840 ton. Apabila harga TBS rata-rata selama 1 siklus tersebut adalah Rp 375,-/kg, maka nilai TBS dari ketiga pengelolaan yang berbeda tersebut sebesar Rp 1,97 trilyun, Rp 1,50 trilyun dan Rp 1,10 trilyun. Perbedaan ini menunjukkan bahwa akibat pengelolaan yang kurang baik, KKS kehilangan peluang keuntungan dari produksi TBS sebesar Rp 870 milyar.



Keterangan : 1 = Kebun Kelapa Sawit Baik (A1B1C1D1) 2 = Kebun Kelapa Sawit Sedang (A2B2C2D2) 3 = Kebun Kelapa Sawit Kurang (A3B3C3D3)

Gambar 3. Produksi tandan buah segar total

Produksi pelepah, tandan kosong dan limbah cair secara kumulatif dalam kurun waktu 25 tahun, untuk A1B1C1D1, A2B2C2D2, dan A3B3C3D3 disajikan pada Tabel 2. Sisa hara hasil daur ulang pelepah, tandan kosong, limbah cair, secara kumulatif dalam kurun waktu 25 tahun, disajikan pada Tabel 3.

Perhitungan sisa hara di tanah dan daur ulang hara, hanya didasarkan pada analisis *input-output*, terutama persentase kehilangan hara di tanah yang disebabkan oleh erosi ke badan sungai, tercuci ke dalam tanah (*leaching*), terbawa aliran permukaan (*run off*) (Henson, 1994), menguap, dan terikat dalam tanah. Pada skenario A1B1C1D1, dosis pupuk N, P, K dan Mg untuk tanaman kelapa sawit ditetapkan secara rasional berdasarkan jumlah hara yang terangkut TBS, terimobilisasi dalam batang pelepah dan daun, terfiksasi dan hilang dalam tanah dan tererosi (1,6,15).

Rendahnya efisiensi pemupukan pada pengelolaan A2B2C2D2 dan A3B3C3D3 disebabkan oleh beberapa penyimpangan, terutama yang meliputi pemilihan jenis, dosis, cara aplikasi dan waktu aplikasi pupuk di lapangan.

Untuk mengurangi kehilangan pupuk, para peneliti menganjurkan menggunakan 1) pupuk lambat larut (*slow release fertilizers*); 2) inhibitor urea (*urease inhibitors*) dalam pupuk N; 3) *microbial inoculants* atau *bio-fertilizers* (9).

Secara kumulatif selama 1 siklus tanam, produksi dan nilai jual minyak dan inti sawit pada A1B1C1D1, A2B2C2D2, dan A3B3C3D3 disajikan pada Tabel 5. Harga rata-rata CIF minyak sawit tahun 2000 sebesar US \$ 310/ton (10) (US\$ 1 = Rp 8.500), harga minyak sawit lokal Rp 2.350/kg, dengan perbandingan penjualan 60% ekspor dan 40% lokal dan harga inti sawit Rp 1.400/kg.

Tabel 2. Produksi pelepah, tandan kosong dan limbah cair (ton)

Jenis hara	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Pelepah	1.133.005	944.171	755.336
Tandan kosong	1.136.462	717.741	421.321
Limbah cair	2.463.001	1.754.344	1.204.879

Tabel 3. Sumbangan hara hasil daur ulang (ton)

Jenis hara	A1B1C1D1			A2B2C2D2			A3B3C3D3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
N	10.197	8.498	6.798	1.796	1.134	666	1.724	1.228	843
P ₂ O ₅	2.368	1.973	1.579	909	574	337	296	211	145
K ₂ O	10.288	8.573	6.858	7.955	5.024	2.949	3.695	2.632	1.807
MgO	4.487	3.739	2.991	909	574	337	665	474	325

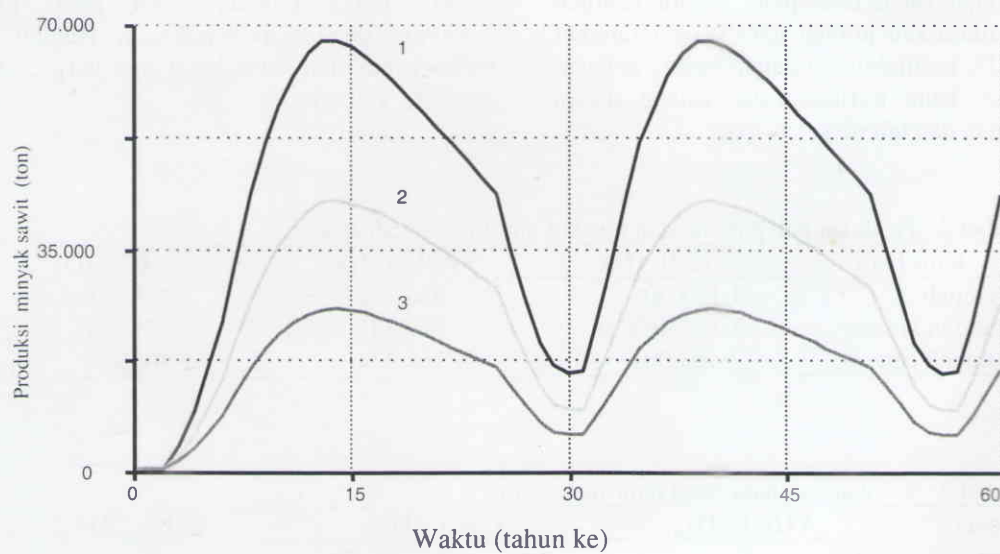
Keterangan : 1 = pelepah 2 = tandan kosong 3 = limbah cair

Tabel 4. Sisa hara setara pupuk dari sisa pupuk dan daur ulang (ton)

Jenis hara	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Urea	16,704	10,533	6,342
SP-36	2,983	1,858	1,097
MOP	36,847	21,132	11,393
Dolomit	76,475	44,120	25,760

Tabel 5. Produksi dan nilai jual minyak dan inti sawit

Jenis hara	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Minyak sawit (ton)	1.065.434	672.882	394.988
Nilai jual minyak (trilyun Rp)	2,68	1,69	0,99
Inti sawit (ton)	260.439	164.482	96.553
Nilai jual inti (milyar Rp)	364,6	230,3	135,2



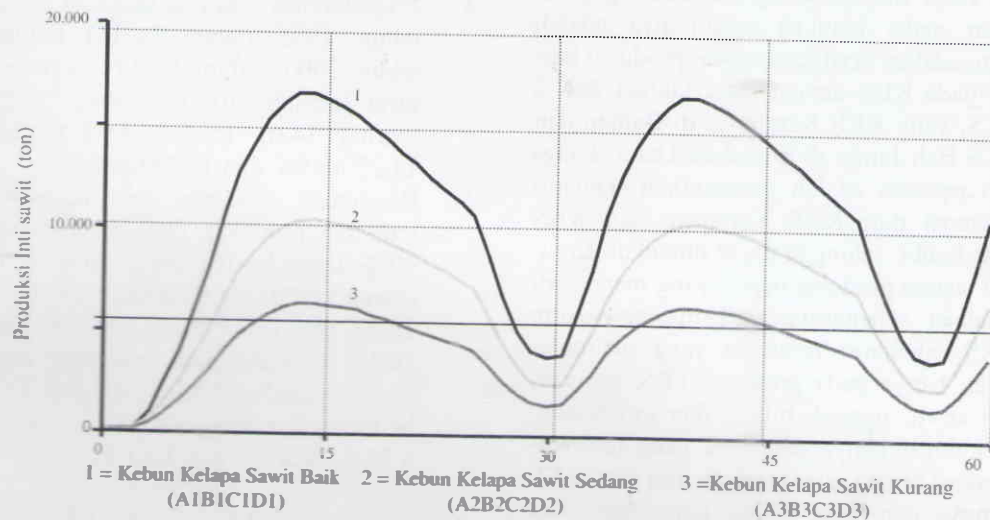
1 = Kebun Kelapa Sawit Baik (A1B1C1D1) 2 = Kebun Kelapa Sawit Sedang (A2B2C2D2) 3 = Kebun Kelapa Sawit Kurang (A3B3C3D3)

Gambar 4. Produksi minyak sawit

Ada beberapa titik kehilangan minyak yang dapat diketahui dengan jelas di PKS, 6 titik untuk minyak sawit dan 4 titik untuk inti sawit (16) seperti disajikan pada Tabel 6.

Sabut dan tempurung (cangkang) termasuk limbah padat yang pada saat ini habis digunakan sebagai bahan bakar ketel uap. Kebutuhan bahan bakar ketel uap kapasitas olah 60 ton TBS/jam adalah 8.000 kg/jam (2). Apabila waktu

pengolahan dalam satu tahun 5.000 jam, maka sabut dan tempurung yang diperlukan sebesar 40.000 ton/tahun atau sekitar 1.000.000 ton dalam 25 tahun. Dengan produksi sabut dan tempurung kumulatif yang disajikan pada Tabel 7, kebutuhan bahan bakar ketel uap untuk skenario A1B1C1D1 sudah mendekati kebutuhan, sedangkan untuk A2B2C2D2 dan A3B3C3D3 tidak terpenuhi.



Gambar 5. Produksi inti sawit

Tabel 6. Kehilangan minyak dan inti sawit (ton)

	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Tempat kehilangan minyak sawit			
Laoding ramp	71.029	134.576	157.995
Strerilisasi (air kondensasi)	2.604	1.869	1.229
Penebahan (tandan kosong)	15.627	11.215	7.373
Air buangan separator (sludge)	7.292	5.234	3.441
Pengempaan (sabut)	34.378	24.672	16.221
Pengolahan biji (biji)	4.167	2.991	1.966
Jumlah kehilangan minyak sawit	135.097	180.557	188.225
Tempat kehilangan inti sawit			
Laoding ramp dan sterilisasi	23.150	43.862	51.495
Fibre cyclone (sabut)	4.167	2.991	1.966
Dust cyclone (debu)	3.125	2.243	1.475
Hydro cyclone dan winnowing (tempurung)	6.771	4.860	3.195
Jumlah Kehilangan inti sawit	37.213	53.956	58.131

Tabel 7. Produksi sabut dan tempurung (ton)

Jenis produksi	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Sabut	597.166	377.113	221.369
Tempurung	345.673	218.313	128.151
Jumlah	942.839	595.426	349.520

Sistem produksi bersih KKS Kertajaya dan Bah Jambi

Setelah analisis sistem produksi bersih KKS Baik, Sedang dan Kurang dibangun maka langkah selanjutnya adalah mengadakan verifikasi model produksi bersih pada KKS dengan data faktual dari 2 KKS, yaitu KKS Kertajaya, di Banten dan KKS Bah Jambi di Sumatera Utara. Langkah pertama adalah menentukan skenario referensi dari KKS Kertajaya dan KKS Bah Jambi, sehingga dapat dibangun simulasi sistem produksi bersih yang mendekati keadaan sebenarnya dari masing-masing KKS. Skenario referensi yang disimulasikan hanya pada produksi TBS, minyak, inti sawit, minyak hilang dan inti hilang, mengingat hanya data ini yang terdokumentasi secara jelas terpisah dari data KKS lainnya dan juga ketiga komponen data tersebut dapat diukur secara akurat. Langkah kedua membandingkan antara simulasi sistem produksi bersih kedua KKS yang sudah dibangun dengan sistem produksi bersih KKS Baik (90 % dari ideal).

Sistem produksi bersih KKS Kertajaya

Kondisi faktual KKS Kertajaya yang digunakan dalam skenario referensi model KKS Kertajaya adalah sebagai berikut :

1. Luas lahan KKS Kertajaya adalah 1592,24 ha.
2. Kerapatan tanaman rata-rata KKS Kertajaya tahun 1996-2000 adalah 117 pohon/ha.
3. Hasil analisis kimia tanah rata-rata yang dilakukan pada tahun 1999,

kandungan hara tanah KKS Kertajaya, adalah sebagai berikut : N = 0,30 %, P_2O_5 = 7,10 ppm, K_2O = 0,14 me/100 g dan MgO = 0,72 me/100 g.

4. Produktivitas rata-rata tanaman mulai tahun 1995 (tahun ke-15) hingga tahun 2000 (tahun ke-20), berturut-turut adalah 10,71 ton/ha; 13,58 ton/ha; 14,61 ton/ha; 8,95 ton/ha; 11,25 ton/ha, dan 13,23 ton/ha.
5. Rendemen rata-rata minyak sawit terhadap produksi TBS mulai tahun 1996 (tahun ke-16) hingga tahun 2000 (tahun ke-20), berturut-turut 19,40 %; 19,37 %; 17,77 %; 13,48 %; dan 16,10 %, sedangkan rendemen rata-rata inti sawit terhadap produksi TBS berturut-turut sebesar 4,03 %; 3,80 %; 4,28 %; 4,20 %, dan 3,50 %.

Berdasarkan data faktual KKS Kertajaya, maka diperoleh model produksi bersih KKS Kertajaya dengan pola sebagai berikut :

1. Kerapatan tanaman 90 % dari kerapatan ideal
2. Efektivitas hara sekitar 70 % dari efektivitas hara ideal
3. Tingkat produksi 60 % dari potensi produksi kelas lahan S3
4. Efisiensi pengolahan PKS 74 % dari efisiensi pengelolaan PKS ideal

Dengan pola ini, maka validitas model untuk produksi TBS, minyak sawit, inti sawit, minyak hilang dan inti hilang secara berturut-turut adalah 85,33 %; 85,19 %; 86,88 %; 89,89 % dan 81,68 %.

sehingga model simulasi ini masih layak untuk digunakan dalam simulasi skenario selanjutnya.

Hasil komparatif antara pengelolaan KKS Kertajaya dengan pengelolaan KKS Baik (A1B1C1D1) selama 10 tahun, yaitu mulai tahun 2001 (tahun ke 21) hingga 2010 (tahun ke-30) adalah sebagai berikut :

- Produksi TBS kumulatif dalam waktu 10 tahun untuk KKS Kertajaya dan A1B1C1D1 secara berturut-turut sebesar 92.073 ton dan 186.178 ton. Rendahnya produksi TBS KKS Kertajaya diakibatkan oleh sangat rendahnya tingkat produksi tandan (di bawah potensi lahan S3) dan bobot tandan. Apabila harga TBS rata-rata Rp 375,-/kg, maka nilai kumulatif TBS KKS Kertajaya hanya Rp 34,53 milyar, sedangkan nilai A1B1C1D1 Rp 69,82 milyar.
- Sumbangan hara setara pupuk dari daur ulang pelepah, tandan kosong dan limbah cair pada KKS Kertajaya selama 10 tahun adalah 1.972,4 ton Urea, 578,5 ton SP-36, 1.693,2 ton MOP dan

1.775,9 ton Dolomit. Akibat pengelolaan yang kurang pada KKS Kertajaya, maka peluang untuk mendapatkan tambahan hara dari daur ulang sebesar 156,4 ton Urea, 68,6 ton SP-36, 395,5 ton MOP dan 144,5 ton Dolomit tidak dapat terpenuhi.

Secara kumulatif selama 10 tahun, produksi minyak sawit pada KKS Kertajaya dan A1B1C1D1 berturut-turut 15.330 ton dan 37.701 ton serta produksi inti berturut-turut 3.747 ton dan 9.216 ton. Apabila harga rata-rata CIF minyak sawit tahun 2000 sebesar US \$ 310/ton (10) (kurs US \$ 1 = Rp 8.500), harga minyak sawit lokal Rp 2.350,00/kg, dan harga inti sawit Rp 1.400/kg, maka hasil penjualan minyak (60 % ekspor dan 40 % lokal) dan inti sawit berturut-turut Rp 38,60 milyar dan Rp 5,20 milyar. Dengan demikian akibat dari rendahnya efektivitas PKS, maka KKS Kertajaya kehilangan memperoleh pendapatan sebesar Rp 64 milyar.

Tabel 8. Daur ulang hara N, P₂O₅, K₂O dan MgO dari pelepah, tandan kosong dan limbah cair hasil simulasi skenario KKS Kertajaya dan A1B1C1D1 (ton)

Tahun	Daur ulang N			Daur ulang P ₂ O ₅			Daur ulang K ₂ O			Daur ulang MgO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2001	94,3	106,8	12,5	22,9	27,2	4,4	116,5	158,6	42,1	41,5	47,2	5,6
2002	100,6	112,3	11,7	24,3	28,4	4,1	121,7	161,0	39,3	44,3	49,5	5,3
2003	102,1	112,7	10,6	24,6	28,3	3,7	122,1	157,9	35,8	45,0	49,8	4,8
2004	101,7	111,7	10,1	24,4	27,9	3,5	120,6	154,5	34,0	44,8	49,3	4,5
2005	101,2	110,9	9,8	24,2	27,7	3,4	118,9	151,8	32,9	44,5	48,9	4,4
2006	129,3	136,4	7,1	30,6	33,0	2,5	142,5	166,4	23,9	56,9	60,1	3,2
2007	139,4	141,2	1,8	32,5	33,1	0,6	143,7	149,6	5,9	61,4	62,2	0,8
2008	44,8	45,0	0,1	10,4	10,5	0,1	45,5	46,0	0,5	19,7	19,8	0,1
2009	28,4	29,9	1,5	6,7	7,2	0,5	30,6	35,7	5,1	12,5	13,2	0,7
2010	45,8	51,1	5,3	11,0	12,8	1,9	53,8	71,6	17,9	20,2	22,6	2,4
Jumlah	887,6	958,0	70,4	211,5	236,2	24,7	1015,9	1253,2	237,3	390,7	422,5	31,8

Keterangan : A = KKS Kertajaya B = A1B1C1D1 (KKS Baik) C = Selisih

Tabel 9. Minyak dan inti sawit hilang hasil simulasi skenario KKS Kertajaya dan A1B1C1D1 (ton)

Tahun	Minyak hilang			Inti hilang		
	KKS Kertajaya	A1B1C1D1	Selisih	KKS Kertajaya	A1B1C1D1	Selisih
2001	761	848	87	228	234	6
2002	721	797	76	216	220	4
2003	681	737	56	204	203	-1
2004	640	697	56	192	192	0
2005	600	665	65	180	183	3
2006	430	481	51	129	132	4
2007	106	119	13	32	33	1
2008	9	10	1	3	3	0
2009	71	93	22	21	26	4
2010	269	334	65	81	92	12
Jumlah	4.288	4.781	493	1.285	1.317	32

Tingkat kehilangan minyak sawit dan inti sawit KKS Kertajaya secara kumulatif 10 tahun berturut-turut Rp 10,81 milyar dan Rp 1,80 milyar. Kehilangan pada A1B1C1D1 lebih tinggi dari KKS Kertajaya mengingat jumlah TBS yang diolah di pabrik pada A1B1C1D1 lebih tinggi dari KKS Kertajaya.

Sistem produksi bersih KKS Bah Jambi

Kondisi faktual KKS Bah Jambi yang digunakan dalam skenario referensi model KKS Kertajaya adalah sebagai berikut :

1. Luas lahan KKS Bah Jambi adalah 5.961 ha
2. Kerapatan tanaman KKS Bah Jambi tahun 1996 hingga 2000 adalah 125 pohon/ha.
3. Rata-rata hasil analisis kimia tanah KKS Bah Jambi yang dilakukan pada tahun 1998, yaitu sebagai berikut : N = 0,44 %, P_2O_5 = 8,9 ppm, K_2O = 0,25 me/100 g dan MgO = 0,85 me/100 g.
4. Produktivitas rata-rata tanaman mulai tahun 1995 (tahun ke-21) hingga tahun 2000 (tahun ke-26) berturut-turut adalah 20,61 ton/ha, 24,11 ton/ha, 24,53

ton/ha, 18,79 ton/ha, 22,78 ton/ha, dan 19,62 ton/ha.

5. Rendemen rata-rata minyak sawit terhadap produksi TBS mulai tahun 1996 (tahun ke-22) hingga tahun 2000 (tahun ke-26) berturut-turut 22,01 %; 22,24 %; 22,11 %; 22,30 %, dan 22,33 %, sedangkan rendemen rata-rata inti sawit terhadap produksi TBS berturut-turut sebesar 5,27 %; 5,33 %; 5,31 %; 5,35 % dan 5,05 %.

Berdasarkan data faktual KKS Bah Jambi, maka diperoleh model produksi bersih KKS Bah Jambi dengan pola sebagai berikut :

1. Kerapatan tanaman 96 % dari kerapatan ideal
2. Efektivitas hara sekitar 90 % dari efektivitas hara ideal
3. Potensi produksi kelas lahan S2
4. Efisiensi pengolahan PKS 97 % dari efisiensi pengelolaan PKS ideal

Dengan pola ini, maka validitas model untuk produksi TBS, minyak, inti sawit, minyak hilang dan inti hilang secara berturut-turut adalah 92,30 %; 92,13 %; 91,86 %; 91,31 % dan 84,30 %, sehingga

model simulasi ini layak untuk digunakan dalam simulasi skena-rio selanjutnya.

Hasil simulasi komparatif antara KKS Bah Jambi dengan A1B1C1D1 selama 10 tahun yaitu dari tahun 2001 (tahun ke-27) hingga 2010 (tahun ke-36), adalah sebagai berikut :

Produksi TBS kumulatif dalam waktu 10 tahun untuk KKS Bah Jambi dan A1B1C1D1 secara berturut-turut sebesar 1.135.926 ton dan 1.157.085 ton. Dengan harga TBS Rp 375/kg maka nilai kumulatif TBS KKS Bah Jambi dan A1B1C1D1 Rp 425,97 milyar dan Rp 433,91 milyar. Tingkat produksi KKS Bah Jambi mencapai 98,2 % dari A1B1C1D1, yang disebabkan oleh tingginya produksi tandan, yaitu mencapai 16 tandan/pohon dalam 1 tahun, serta tingginya rata-rata bobot tandan yang mencapai, yaitu lebih dari 30 ton. Tingkat produksi yang tinggi ini didukung oleh pelaksanaan kultur teknis yang memadai, seperti pemberian pupuk yang tepat dosis, cara, waktu aplikasi serta pelaksanaan kultur teknis lainnya. Sumbangan hara setara pupuk dari daur ulang limbah pada pengelolaan KKS Bah

Jambi selama 10 tahun adalah 8.407,6 ton Urea, 2.694,2 ton SP-36, 9.467,5 ton MOP dan 7.598,2 ton Dolomit.

Secara kumulatif selama 10 tahun, produksi minyak sawit pada KKS Bah Jambi dan A1B1C1D1 berturut-turut 247.916 ton dan 234.310 ton serta produksi inti berturut-turut 60.602 ton dan 57.276 ton. Apabila harga rata-rata CIF minyak sawit tahun 2000 sebesar US \$ 310/ton (10) (kurs US \$ 1 = Rp 8.500), harga minyak sawit lokal Rp 2.350,00/kg, dan harga inti sawit Rp 1.400/kg, maka hasil penjualan minyak (60 % ekspor dan 40 % lokal) dan inti sawit berturut-turut Rp 625,00 milyar dan Rp 84,80 milyar.

Tingkat kehilangan minyak sawit dan inti sawit KKS Bah Jambi secara kumulatif 10 tahun berturut-turut Rp 46,79 milyar dan Rp 6,39 milyar. Kehilangan pada A1B1C1D1 lebih tinggi dari KKS Bah Jambi mengingat tingkat efisiensi pabrik KKS Bah Jambi lebih baik dari A1B1C1D1, yaitu masing-masing 97 % dan 90 %.

Tabel 10. Daur ulang hara N, P₂O₅, K₂O dan MgO dari pelepah, tandan kosong dan limbah cair hasil simulasi skenario KKS Bah Jambi dan A1B1C1D1 (ton)

Tahun	Daur ulang N			Daur ulang P ₂ O ₅			Daur ulang K ₂ O			Daur ulang MgO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2001	370.7	351.0	-19.8	96.5	91.3	-5.2	586.7	559.0	-27.7	163.9	155.1	-8.8
2002	411.1	388.4	-22.7	105.4	99.5	-5.9	616.9	586.1	-30.8	181.6	171.5	-10.1
2003	388.8	366.9	-21.8	100.0	94.3	-5.7	591.3	560.3	-31.0	171.8	162.0	-9.7
2004	411.1	387.3	-23.7	104.6	98.4	-6.2	601.4	568.3	-33.1	181.6	171.0	-10.6
2005	380.3	358.9	-21.4	97.0	91.5	-5.6	561.9	532.6	-29.2	168.0	158.5	-9.6
2006	340.3	321.3	-19.0	87.8	82.8	-5.0	521.9	494.8	-27.2	150.4	141.9	-8.5
2007	390.9	368.5	-22.3	99.3	93.6	-5.8	569.2	538.6	-30.6	172.6	162.7	-10.0
2008	374.1	352.9	-21.1	95.4	89.9	-5.5	550.9	522.0	-28.9	165.2	155.8	-9.4
2009	347.4	327.2	-20.2	89.3	84.0	-5.4	527.4	497.5	-29.9	153.5	144.5	-9.0
2010	368.8	348.1	-20.8	94.5	89.1	-5.4	553.0	524.1	-28.9	163.0	153.7	-9.3
Jumlah	3783.4	3570.5	-212.9	969.9	914.3	-55.5	5680.5	5383.3	-297.2	1671.6	1576.6	-95.0

Keterangan : A = KKS Bah Jambi B = A1B1C1D1 C = Selisih

Tabel 11. Minyak dan inti sawit hilang hasil simulasi skenario KKS Bah Jambi dan A1B1C1D1 (ton)

Tahun	Minyak hilang			Inti hilang		
	KKS Bah Jambi	A1B1C1D1	Selisih	KKS Bah Jambi	A1B1C1D1	Selisih
2001	2.118	3.418	1.300	521	942	421
2002	2.013	3.240	1.227	495	893	398
2003	1.983	3.172	1.189	488	874	386
2004	1.859	2.961	1.102	457	816	359
2005	1.774	2.845	1.070	436	784	347
2006	1.779	2.846	1.068	437	784	347
2007	1.741	2.783	1.042	428	767	338
2008	1.728	2.768	1.040	425	763	338
2009	1.762	2.792	1.030	433	769	336
2010	1.802	2.884	1.083	443	795	351
Jumlah	18.560	29.710	11.151	4.564	8.184	3.620

KESIMPULAN

Hasil utama penelitian ini adalah berupa rancang bangun model produksi bersih KKS yang disusun secara lengkap menggunakan standar kultur teknis kelapa sawit sebagai pembentuk komponen sistem serta hubungan antar komponen yang terdapat dalam setiap subsistem.

1. Model produksi bersih KKS dirancang dengan beberapa asumsi pokok dan berdasarkan 4 komponen ideal, yaitu : 1) kerapatan tanaman 130 pohon/ha, 2) efektivitas pemupukan dan daur ulang untuk hara N, P₂O₅, K₂O dan MgO berturut-turut 55 %, 30 %, 80 % dan 80 %, 3) potensi produksi kelas lahan adalah kelas lahan S1, 4) efektivitas pengolahan pabrik 100 %, yaitu pabrik kelapa sawit yang mampu menghasilkan minyak dan inti dengan rendemen masing-masing sebesar 22,5 % dan 5,5 % serta kehilangan minyak dan inti maksimum sebesar 1,23 % dan 0,27 %. Berdasarkan asumsi pokok dan 4 komponen ideal, dirancang dan dioperasikan Model Produksi Bersih KKS Baik, Model Produksi Bersih Sedang dan

Model Produksi Bersih KKS Kurang, dengan kisaran nilai berturut-turut 85-100 %, 70-84 % dan 55-69 % dari nilai komponen KKS ideal.

2. Keluaran utama model produksi bersih KKS Baik, KKS Sedang dan KKS Kurang secara kumulatif 1 siklus produksi (25 tahun) dengan luas lahan 12.000 ha yang ditanam secara bertahap 2.000 ha/tahun selama 6 tahun adalah sebagai berikut : a) Perolehan kayu pada akhir peremajaan berturut-turut 631.800 m³, 526.500 m³ dan 421.200 m³, b) Jumlah produksi TBS adalah 5.261.400 ton, 3.987.450 ton dan 2.925.840 ton, dengan nilai jual Rp 1,97 trilyun, Rp 1,50 trilyun dan Rp 1,10 trilyun. c) Produksi bobot kering pelepah adalah 1.133.005 ton, 944.171 ton dan 755.336 ton. d) Produksi tandan kosong sebesar 1.136.462 ton, 717.741 ton dan 421.321 ton. e) Sumbangan hara total hasil daur ulang pelepah, tandan kosong dan limbah cair setara pupuk dengan nilai total secara berturut-turut Rp 118,07 milyar, Rp 69,19 milyar dan Rp 38,85 milyar. f) Produksi minyak sawit 1.065.434 ton, 672.882 ton dan 394.988 ton, dengan nilai

jual Rp 2,68 triliun, 1,69 triliun dan Rp 0,99 triliun. g) Total kehilangan minyak sawit sebesar 135.097 ton, 180.557 ton dan 188.225 ton. h) Produksi inti sawit sebesar 260.439 ton, 164.482 ton dan 96.553 ton, dengan nilai jual sebesar Rp 364,6 milyar, Rp 230,3 milyar dan Rp 135,2 milyar. i) Total kehilangan inti sawit sebesar 37.213 ton, 53.956 ton dan 58.131 ton.

3. Kondisi faktual KKS Kertajaya pada saat penelitian adalah sebagai berikut : a) Rata-rata kerapatan tanaman adalah 117 pohon/ha. b) Rata-rata hasil analisis kimia tanah yang dilakukan pada tahun 1999, kandungan hara tanah KKS Kertajaya, adalah $N = 0,30 \%$, $P_2O_5 = 7,10$ ppm, $K_2O = 0,14$ me/100 g dan $MgO = 0,72$ me/100 g. c) Produktivitas rata-rata tanaman mulai tahun 1995 (tahun ke-15) hingga tahun 2000 (tahun ke-20), berturut-turut adalah 10,71 ton/ha, 13,58 ton/ha, 14,61 ton/ha, 8,95 ton/ha, 11,25 ton/ha, dan 13,23 ton/ha. d) Rendemen rata-rata minyak sawit terhadap produksi TBS mulai tahun 1996 (tahun ke-16) hingga tahun 2000 (tahun ke-20), berturut-turut 19,40 %, 19,37 %, 17,77 %, 13,48 %, dan 16,10 %, sedangkan rendemen rata-rata inti sawit terhadap produksi TBS berturut-turut sebesar 4,03 %, 3,80 %, 4,28 %, 4,20 % dan 3,50 %.

Hasil verifikasi model dengan data faktual KKS Kertajaya, maka dapat disusun **Model Produksi Bersih KKS Kertajaya** dengan pola : a) Kerapatan tanaman 90 % dari kerapatan ideal. b) Efektivitas hara sekitar 70 % dari efektivitas hara ideal. c) Tingkat produksi 60 % dari potensi produksi kelas lahan S3. d) Efisiensi pengolahan PKS 74 % dari efisiensi pengelolaan PKS ideal. Dengan pola ini, maka nilai validitas KKS Kertajaya yang dilihat dari produksi TBS, minyak sawit, inti sawit, minyak hilang dan inti hilang berturut-turut 85,33 %,

85,19 %, 86,88 %, 89,89 % dan 81,68 %, sehingga model simulasi KKS Kertajaya layak untuk digunakan dalam simulasi selanjutnya.

4. Kondisi faktual KKS Bah Jambi pada saat penelitian adalah sebagai berikut : a) Rata-rata kerapatan tanaman adalah 125 pohon/ha. b) Rata-rata hasil analisis kimia tanah KKS Bah Jambi yang dilakukan pada tahun 1998, yaitu sebagai berikut : $N = 0,44 \%$, $P_2O_5 = 8,9$ ppm, $K_2O = 0,25$ me/100 g dan $MgO = 0,85$ me/100 g. c) Produktivitas rata-rata tanaman mulai tahun 1995 (tahun ke-21) hingga tahun 2000 (tahun ke-26) berturut-turut adalah 20,61 ton/ha; 24,11 ton/ha; 24,53 ton/ha; 18,79 ton/ha; 22,78 ton/ha, dan 19,62 ton/ha. d) Rendemen rata-rata minyak sawit terhadap produksi TBS mulai tahun 1996 (tahun ke-22) hingga tahun 2000 (tahun ke-26) berturut-turut 22,01 %; 22,24 %; 22,11 %; 22,30 %, dan 22,33 %, sedangkan rendemen rata-rata inti sawit terhadap produksi TBS berturut-turut 5,27 %; 5,33 %; 5,31 %; 5,35 % dan 5,05 %. Hasil verifikasi model dengan data faktual KKS Bah Jambi, maka dapat disusun **Model Produksi Bersih KKS Bah Jambi** dengan pola : a) Kerapatan tanaman 96 % dari kerapatan ideal. b) Efektivitas hara sekitar 90 % dari efektivitas hara ideal. c) Potensi produksi kelas lahan S2 d) Efisiensi pengolahan PKS 97 % dari efisiensi pengelolaan PKS ideal. Dengan pola ini, maka nilai validitas KKS Bah Jambi yang dilihat dari produksi TBS, minyak sawit, inti sawit, minyak hilang dan inti hilang berturut-turut 92,30 %; 92,13 %; 91,86 %; 91,31 % dan 84,30 %, sehingga model simulasi KKS Bah Jambi layak untuk digunakan dalam simulasi selanjutnya.

SARAN

Model simulasi ini dapat disempurnakan menuju kepada model yang lebih holistik dengan memasukkan beberapa komponen tambahan, yaitu tingkat kehilangan mikroorganisme akibat pembakaran lahan, residu insektisida, pestisida dan herbisida akibat pelaksanaan pemberantasan hama dan penyakit, konservasi tanah dan air, pengaruh daur ulang pelepah, tandan kosong dan limbah cair terhadap perkembangan mikroorganisme di tanah.

Selanjutnya subsistem model dapat diperluas dengan memasukkan kajian ekonomi yang membahas lebih mendalam nilai kerugian lingkungan dengan adanya investasi perkebunan kelapa sawit pada suatu daerah tertentu, sehingga keputusan investasi pada sektor perkebunan tidak memberikan dampak yang negatif terhadap lingkungan, baik lingkungan alam maupun sosial masyarakat di sekitar perkebunan kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- ADIWIGANDA, T., Z. POELOENGAN, R. ADIWIGANDA, M.M. SIAHAAN, P. PURBA and SUGIYONO. 1997. Penentuan dosis pupuk N, P, K, Mg untuk tanaman kelapa sawit menghasilkan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. IN. 9710. Medan.
2. AMRI, H.S. 1999. Audit energi pada proses produksi CPO di pabrik kelapa sawit Kertajaya, PTP Nusantara VIII. Banten Selatan. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 71-72.
3. BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN. 1995. National commitment to implement a cleaner production strategy in Indonesia. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. Jakarta. 3-8.
4. DAHURI, R. 1998. Materi kuliah mata ajaran analisis sistem and permodelan dalam pengelolaan lingkungan. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
5. DIREKTORAT JENDERAL BINA PRODUKSI PERKEBUNAN. 2000. Luas areal dan produksi kelapa sawit menurut propinsi di Indonesia tahun 1998 sampai 2000. Jakarta.
6. HARTLEY, C.W.S. 1988. *The Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. Third Edition. Longman Scientific and Technical. John Wiley & Son, Inc., New York.
7. HENSON, I.E. 1994. Environmental impacts of oil palm plantations in Malaysia. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Ministry of Primary Industries, Kuala Lumpur, Malaysia.
8. IBRAHIM, A. 1995. Outlook of palm oil in relation to other oils and fats. Malaysian Palm Oil Promotion Council, Kuala Lumpur, Malaysia.
9. INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRI ASSOCIATION (IFA) - United Nations Environment Programme (UNEP). 2000. Mineral fertilizer use and the environment. France. 23-28.
10. ISTA MIELKE GMBH. 2000. Statistic update. Oil World 2000. Ista Mielke GMBH. Hamburg.
11. MULYONO, D.S. 1997. Manajemen pabrik kelapa sawit yang efisien. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit. Medan, 16 Desember 1997. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
12. NG S.K. 1972. The oil Palm, Its Culture, Manuring and Utilisation. International Potash Institute, Switzerland, in collaboration with Institut de Recherches pour les Huiles et Oleagineux (I.R.H.O), France.
13. PAMIN, K., DARNOKO and P. GURITNO. 1995. Strategi pengelolaan limbah perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Warta PPKS 1995. Vol. 3(2). Medan. 47-53.
14. SURATMO, F.G. 1998. Indonesian perspective and experiences on forest fire management. Paper for FAO Consulting on Public Policies Affecting Forest Fire in Rome, October 28 -30 1998. Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University.
15. UEXKULL, H.R.V. and T.H. FAIRHURST. 1991. Fertilizing for high yield and quality the oil palm. IPI Bulletin No. 12. International Potash Institute, Switzerland.
16. VELAYUTHAN, A. and K.L. CHAN. 1982. Efficiency of palm oil extraction and quality

- control. Proceedings of Regional Workshop on Palm Oil Mill Technology and Effluent Treatment. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.
17. VON UEXKULL, H.R. and T.H. FAIRHURST. 1991. Fertilizing for high yield and quality the oil palm. International Potash Institute Bulletin No. 12. Bern/ Switzerland.
18. ZULNERLIN and A.F. IBRAHIM. 1999. Experience in zero burning in plantations of PT. PP. London Sumatra Indonesia Tbk. Proceeding of The 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture). Kuala Lumpur, Malaysia.

**Design of cleaner production model of the oil palm plantation:
Case study at Kertajaya oil palm estate, Banten and
Bah Jambi oil palm estate, North Sumatra**

Luqman Erningpraja and Z. Poeloengan

Abstract

Oil palm plantation (OPP) waste mainly comprises gas, solid, and liquid which potentially causes pollution if not well processed. To manage the waste produced by OPP, a control system is necessary, to manage land clearing, estate maintenance and production of fresh fruit bunch in the field as well as the process of crude palm oil and palm kernel palm oil including waste processing unit. On the other hand, the waste in the form of fiber, shell, empty bunch, frond, trunk, and liquid waste have not been utilized yet. Based on these facts, cleaner production program at the OPP is significantly. Operationally, cleaner production at the OPP is an effort to increase efficiency and effectiveness in using raw materials, energy, and the other resources, reduce volume and toxicity of wastes, and recycle wastes of all production processing. The main research result was the design of cleaner production model of OPP. The model operates with some assumptions covering plant density, effectiveness of fertilizer and nutrient recycling of N, P₂O₅, K₂O and MgO, potential production and effectiveness of palm oil mill. The cleaner production model of OPP was verified by factual data of Kertajaya OPP, Banten and Bah Jambi OPP, North Sumatra. The system analysis conducted by using Stella version 4.0.2. from High Performance System, Inc, Hanover, Canada, 1996.

Keywords : oil palm plantation, cleaner production

Introduction

For every ton of fresh fruit bunch (FFB) processed in a palm oil mill, there will be 1 m³ of effluent, 0.2 ton of empty fruit bunch (EFB), 0.13 ton of fiber, and 0.05 ton of shell (13). These wastes might pollute the environment when not properly managed. In addition, burning was still found either in new or re-planting that causes serious pollution problems in South East Asia and Australia (14). Hence, oil palm plantation is urged to implement cleaner production program.

Cleaner production program actually has been socialized since 1983 as a strategy for preventive and integrated environment management. Basically, cleaner production is an effort to prevent, reduce and eliminate pollution (3).

The main objective of this study is to design cleaner production model in oil palm plantation (OPP) and then verify the model with actual data of Kertajaya and Bah Jambi OPP. Model obtained from this study can be used as reference in oil palm plantation management that put environment conservation as its priority that may bring the trust of local and foreign palm oil users. Further, this study may give a picture to the decision makers about the condition of the Indonesian oil palm plantation, its roles and impacts of each activity to the environment.

Methods

This study was done for 16 months. The factual data were collected from Kertajaya estate of PTPN VIII, Lebak District, Banten (1,592.24 ha) and Bah Jambi estate PTPN IV, Simalungun District, North Sumatra Utara (5,961 ha). The data were col-

lected from three subsystems namely land clearing, maintenance and production, and palm oil mill and its effluent treatment units. Assumption applied to the three subsystems partially have become the standard cultivation techniques and procedures.

In order to evaluate the oil palm plantation management specifically on implementing cleaner production and to generate simulation model on the response of the environment to cleaner production, system and modeling analyses were employed. The system analysis was done using Stella version 4.0.2, program of High Performance System, Inc, Hanover, Canada, 1996.

The study was done in two stages namely: 1) To construct model of good, moderate and poor oil palm cleaner production management 2) to verify the model data from Kertajaya and Bah Jambi estates were used. Root mean-square percentage error (RMSPE) was used to measure the accuracy of the model (4) where:

$$\text{RMSPE} = \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(Y_t^2 - \frac{Y_t^2}{Y_t^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

T = number of observation,

Y_{ts} = simulated value,

Y_{ta} = observed value

Results and Discussion

Cleaner production system in oil palm plantation

A complete cleaner production model from land clearing, maintenance, FFB production and palm oil processing has been generated (Figure 1). To simulate the dynamic of oil palm plantation cleaner production system, a dynamic method was used i.e. a system describing causal rela-

tionships of all components constructing the system. Considering wide scope of cleaner production, this study limited the system analysis as describe in Figure 2. Such limitation was done due to limited valid data and some cultivation technique was already obsolete.

Cleaner production model of oil palm plantation was constructed using four ideal assumptions namely : 1) plant density of 130 plant/hectare, 2) effectiveness and recycle of N, P₂O₅, K₂O and MgO, which are 55 %, 30 %, 80 % and 80 % respectively, 3) soil is highly suitable (S1 suitability class), 4) palm oil mill effectiveness 100 %, namely oil extraction rate 22.5 %, palm kernel yield is 5.5 %, maximum oil lost is 1.23 % and maximum kernel lost is 0.27 %.

Based on these 4 ideal assumptions model of cleaner productions for good, moderate and poor class oil palm plantation were constructed. The value range for class of oil palm plantation management was 85-100 %, 70-84 % and 55-69 % from ideal value respectively (Table 1). The middle value of the class of each components namely 90%, 75% and 60% were taken to represent the class. Hence there were 81 combinations of OPP management scenarios. To simplify and clarify the results of simulation of cleaner production models, only 3 out of the 81 scenarios were discussed namely good OPP (A1B1C1D1), moderate OPP (A2B2C2D2) and poor OPP (A3B3C3D3). Duration used for simulation was 60 years in order to get pictures of 2 production cycles.

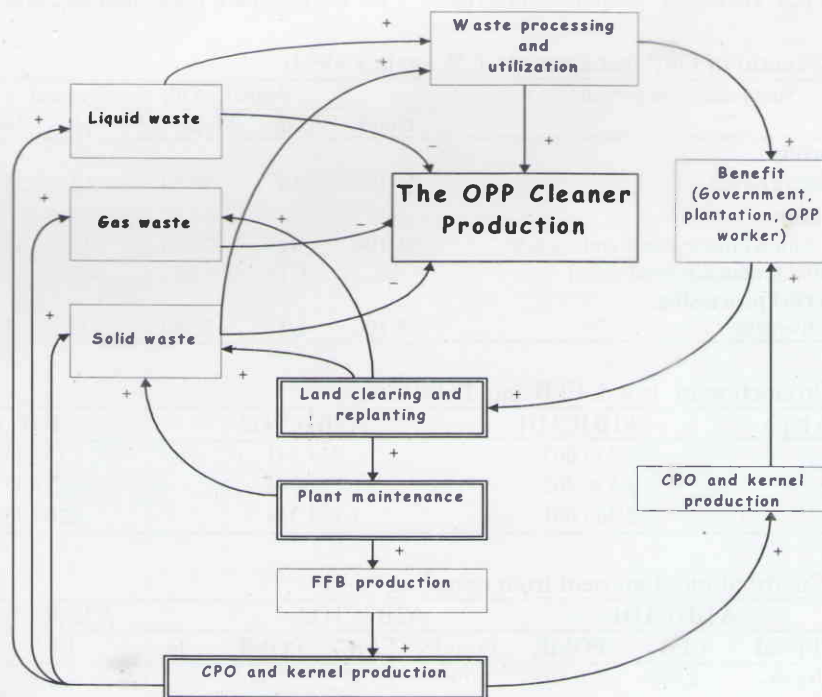


Figure 1. Structural frame of cleaner production system in oil palm plantation

Cumulative 25 year output of the cleaner production models were as follows: palm wood from the end of the 26th to 31st years for A1B1C1D1, A2B2C2D2 and A3B3C3D3 were 631,800 m³, 526,500 m³ and 421,200 m³ respectively. With selling price assumption of Rp 50,000,- per m³ palm wood, the value of palm wood selling for the three OPP classes were Rp 32 billion, Rp 26 billion and Rp 21 billion respectively. At the same time, oil palm replanting also yield waste in the form of soft wood amounted 538,200 m³, 448,500 m³ and 358,800 m³ for A1B1C1D1, A2B2C2D2, and A3B3C3D3. The major problem in zero burning replanting is the trunk might cause some threatening problems. The trunk becomes the nest of *Oryctes* and *Rhynchophorus* that may damage the new plantings (12). However, proper cover crop

planting over the trunk may stimulate and invite their predators and control the pests (18).

Cumulative FFB production within 1 cycle for A1B1C1D1, A2B2C2D2 and A3B3C3D3 were 5,261,400 ton, 3,987,450 ton and 2,925,840 ton respectively. Assuming an average FFB price of Rp 375 per kg, the production value of the three class were Rp 1.97 trillion, Rp 1.50 trillion and Rp 1.10 trillion respectively. The figure show that as the result of poor management, the poor OPP class lost an opportunity valued Rp 870 billion. Cumulative production of frond, empty fruit bunch (EFB) and palm oil mill effluent (POME) in 25 years for A1B1C1D1, A2B2C2D2, and A3B3C3D3 are presented in Table 2. Cumulative residue of recycled frond, EFB, and POME for 25 years are presented in Table 3.

Table 1. Scenario of OPP management (% against ideal)

Subsystem/component	Scenario OPP management					
	Good	code	Moderate	code	Poor	code
Land clearing:						
A. Density (tree/ha)	85-100	A1	70-84	A2	55-69	A3
Maintenance:						
B. Fertilization effectiveness and recycle	85-100	B1	70-84	B2	55-69	B3
C. Potential production (soil class)	S1	C1	S2	C2	S3	C3
Oil and kernel processing:						
D. Effectiveness	85-100	D1	70-84	D2	55-69	D3

Table 2. Production of frond, EFB and POME (ton)

Waste type	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Frond	1,133,005	944,171	755,336
EFB	1,136,462	717,741	421,321
POME	2,463,001	1,754,344	1,204,879

Table 3. Contribution of nutrient from recycling (ton)

Type	A1B1C1D1			A2B2C2D2			A3B3C3D3		
	Frond	EFB	POME	Frond	EFB	POME	Frond	EFB	POME
N	10,197	8,498	6,798	1,796	1,134	666	1,724	1,228	843
P ₂ O ₅	2,368	1,973	1,579	909	574	337	296	211	145
K ₂ O	10,288	8,573	6,858	7,955	5,024	2,949	3,695	2,632	1,807
MgO	4,487	3,739	2,991	909	574	337	665	474	325

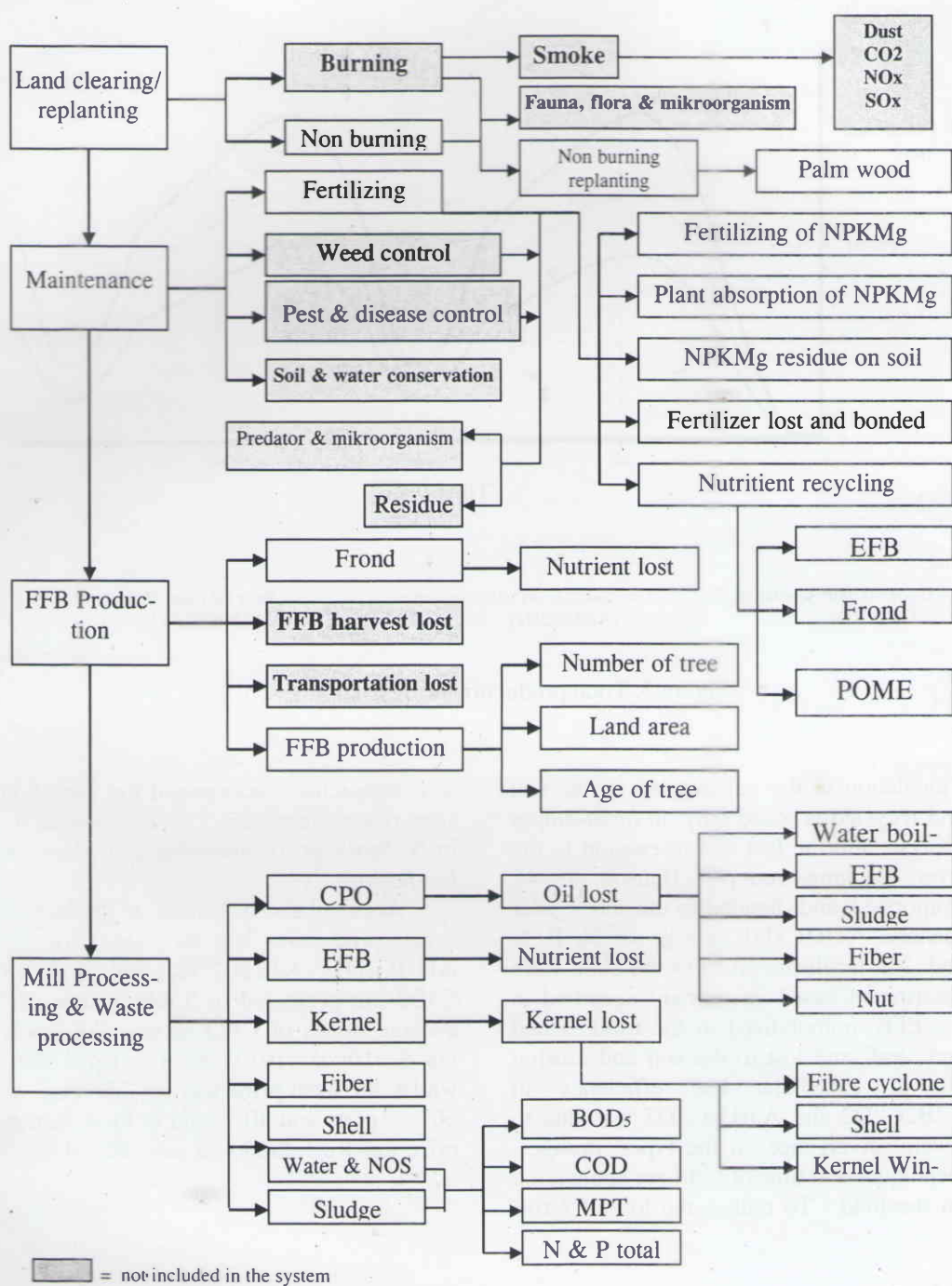
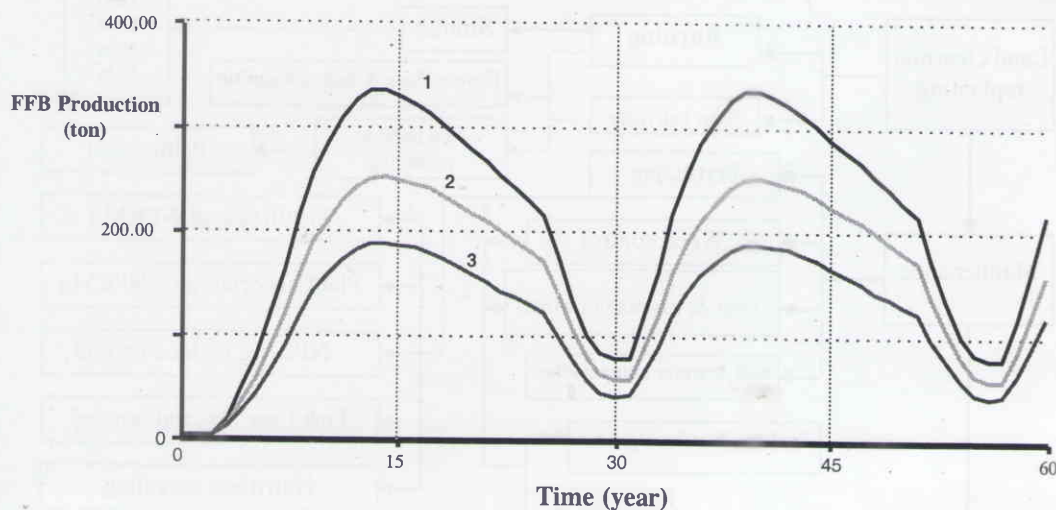


Figure 2. Definition of the OPP cleaner production system.



Note:

1 = Good oil palm plantation
(A1B1C1D1)

2 = Moderate oil palm plantation
(A2B2C2D2)

3 = Poor oil palm plantation
(A3B3C3D3)

Figure 3. Total production of fresh fruit bunch.

Calculation of the nutrient left in the soil and recycled is based only on *input-output* analysis and the lost due to erosion to the river, leaching, run off (Henson, 1994), evaporated, and bonded to the soil. Under scenario A1B1C1D1, dosage of N, P, K and Mg fertilizers given to the plant were determined based on nutrient absorbed in the EFB, immobilized in the trunk, frond and leaf, and lost to the soil and erosion (1, 6, 15). The low efficiency in A2B2C2D2 and A3B3 C3D3 was due to several divergence on the types, dosages, techniques and time of fertilizer application on the field. To reduce the lost of fertil-

izer, researchers recommend the use of 1) *slow release fertilizers* 2) *urease inhibitors* in N fertilizer 3) *microbial inoculants* or *bio-fertilizers* (9).

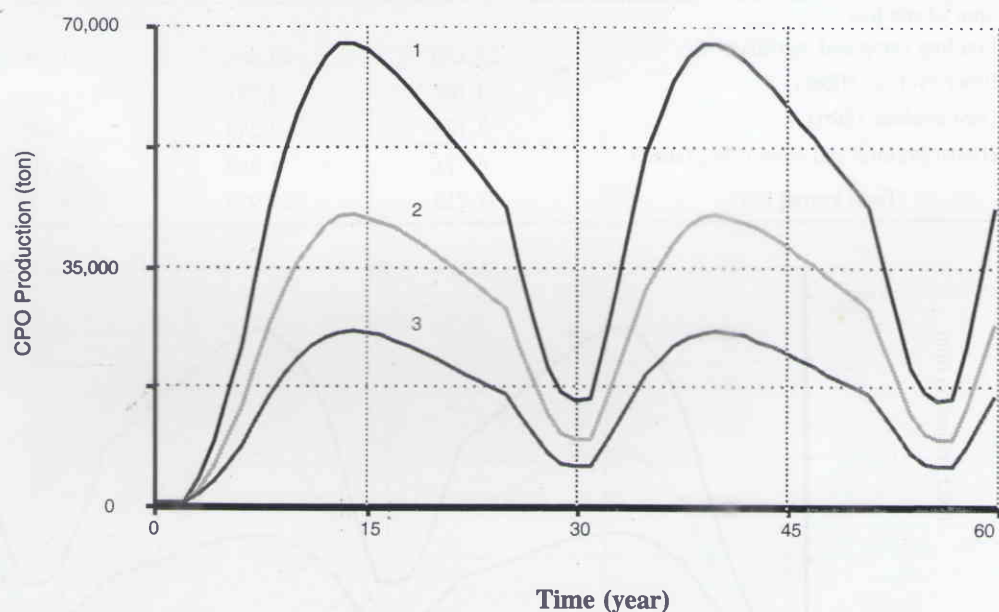
Accumulatively within a production cycle, production and its value of the A1B1C1D1, A2B2C2D2, and A3B3 C3D3 are presented in Table 5. The CIF average prices of CPO in year 2000 was US \$ 310/ton (10) (US\$ 1 = Rp 8,500), whilst the local price was Rp 2,350/kg. At 60% exports and 40% sold in local market price was Rp 1,400/kg of palm kernel oil.

Table 4. Fertilizer equivalent of fertilizer residue and recycling (ton)

Fertilizer	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Urea	16,704	10,533	6,342
SP-36	2,983	1,858	1,097
MOP	36,847	21,132	11,393
Dolomite	76,475	44,120	25,760

Table 5. Production and selling value of CPO and palm kernel

	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
CPO (ton)	1,065,434	672,882	394,988
CPO value (trillion Rp)	2.68	1.69	0.99
Kernel (ton)	260,439	164,482	96,553
Kernel value (billion Rp)	364.6	230.3	135.2



Note:

1 = Good oil palm plantation (A1B1C1D1) 2 = Moderate oil palm plantation (A2B2C2D2) 3 = Poor oil palm plantation (A3B3C3D3)

Figure 4. CPO production

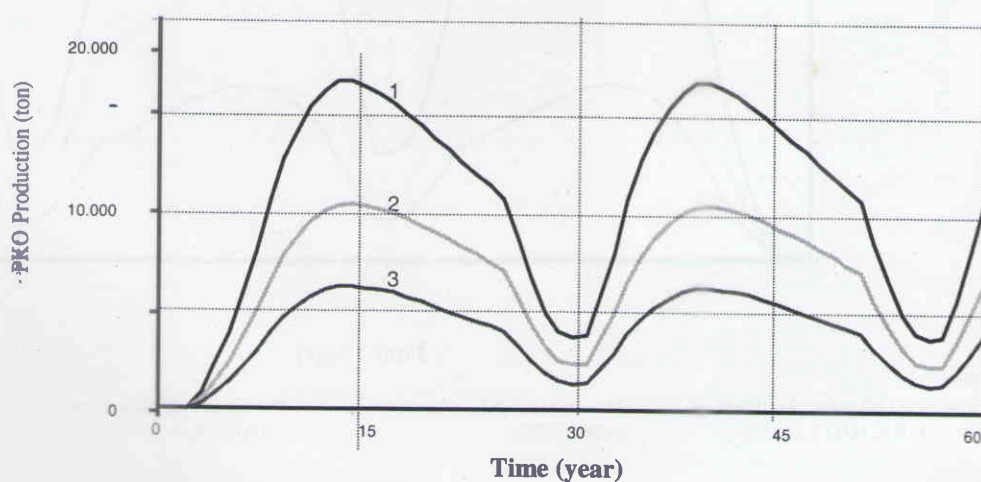
In line with the world development, good oil quality becomes the demand of the people. Standard oil quality is free fatty acid content of 5.0 %, moisture contents 0.45 % and dirt content of 0.05 % whilst standard quality of palm kernel is

moisture 7.0 % and moisture and dirt 6.0 % and broken kernel 15.0 % (11).

There are six possible points for oil losts and four of kernel (16) as presented in Table 6.

Table 6. Losses of oil and kernel (ton)

	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Spot of oil lost			
Loading ramp	71,029	134,576	157,995
Sterilizer (condensate)	2,604	1,869	1,229
Thresher (empty bunch)	15,627	11,215	7,373
Sludge separator (sludge)	7,292	5,234	3,441
Pressing (fiber)	34,378	24,672	16,221
Nut processing (nut)	4,167	2,991	1,966
Total oil lost	135,097	180,557	188,225
Spot of nut lost			
Loading ramp and sterilizer	23,150	43,862	51,495
Fiber cyclone (fiber)	4,167	2,991	1,966
Dust cyclone (dust)	3,125	2,243	1,475
Hydro cyclone and winnowing (shell)	6,771	4,860	3,195
Total kernel lost	37,213	53,956	58,131



Note:

1 = Good oil palm plantation
(A1B1C1D1)

2 = Moderate oil palm plantation
(A2B2C2D2)

3 = Poor oil palm plantation
(A3B3C3D3)

Figure 5. Palm kernel production

Fiber and shell are the wastes that have been used up as fuel for boiler. The need for boiler in a 60 ton FFB/hour POM is 8,000 kg/hour (2). If the processing time is 5,000 hour per year, the need for fiber and shell is 40,000 ton/year or 1,000,000 tons per 25 years. With production of fiber and nut as presented in Table 7, the need for boiler of A1B1C1D1 has been satisfied but not for A2B2C2D2 and A3B3C3D3.

Table 7. Production of fiber and shell (ton)

Products	A1B1C1D1	A2B2C2D2	A3B3C3D3
Fiber	597,166	377,113	221,369
Shell	345,673	218,313	128,151
Total	942,839	595,426	349,520

3.2. Cleaner production system of OPP Kertajaya and Bah Jambi.

After constructing the cleaner production system for good, moderate and poor OPP, the next step was to verify them at two OPPs namely OPP Kertajaya, in Banten province and OPP Bah Jambi in North Sumatra Province. The first step in verification was to determine the reference of the two so that simulation on cleaner production system can be made close to the actual condition. Reference scenario was only based on the production of FFB, crude palm oil, palm kernel, lost of oil and kernel production considering that only these variables well documented and reliable. The second step was to compare the result obtained from simulation under the two cleaner production systems to the good OPP (90 % from the ideal).

3.2.1. Cleaner production system of OPP Kertajaya

The factual condition used in the scenario for reference model of OPP Kertajaya was as follows:

1. Acreage 1592.24 ha.
2. Average plant density of 1996-2000 was 117 tree/ha.
3. Nutrient content of the soil: N = 0.30 %, P₂O₅ = 7.10 ppm, K₂O = 0.14 me/100 g and MgO = 0.72 me/100 g based on the chemical analysis conducted in 1999.
4. Average plant productivity from 1995 (15th year) to 2000 (20th year), were 10.71 ton/ha, 13.58 ton/ha, 14.61 ton/ha, 8.95 ton/ha, 11.25 ton/ha, and 13.23 ton/ha respectively.
5. Oil extraction rate from the 16th to the 20th year were 19.40 %, 19.37 %, 17.77 %, 13.48 %, and 16.10 %, respectively whilst palm kernel production were 4.03 %, 3.80 %, 4.28 %, 4.20 % and 3.50 %.

Based on the factual data of OPP Kertajaya, cleaner production model for OPP was found with the following pattern:

1. Plant density 90 % from ideal
2. Nutrient effectiveness 70 % from ideal
3. Production level 60 % from that of S3 class
4. Process efficiency of the POM was 74 % from ideal

With this pattern, validity model for FFB, CPO, palm kernel, oil and palm kernel losses were 85.33 %, 85.19 %, 86.88 %, 89.89 % and 81.68 % respectively so that the simulation model is still feasible for the simulation of further scenario.

Comparison between OPP Kertajaya to good OPP (A1B1C1D1) for 10 years

namely from 2001 (the 21st year) to 2010 (the 30th year) resulted the following:

Cumulative FFB production for 10 years for OPP Kertajaya and A1B1C1D1 were 92,073 ton and 186,178 ton respectively. Such low production of OPP Kertajaya was due to the low bunch production which is below S3 class as well as due bunch weight. If the FFB price is Rp 375,-/kg, then the value of cumulative FFB production in OPP Kertajaya is only Rp 34,53 billion, whereas the value of A1B1C1D1 is Rp 69,82 billion.

Contribution of fertilizer equivalent nutrient from the recycled frond, empty bunch and palm oil effluent in OPP Kertajaya for 10 years were 1,972.4 ton Urea, 578.5 ton SP-36, 1,693.2 ton MOP and 1,775.9 ton Dolomite. Due to poor management in OPP Kertajaya, the opportunity to utilize additional nutrient from recycle amounted to 156.4 ton Urea, 68.6 ton SP-36, 395.5 ton MOP and 144.5 ton Dolomite vanished.

Within 10 years, accumulative CPO production of OPP Kertajaya and A1B1C1D1 were 15,330 tons and 37,701 tons respectively whereas the kernel production were 3,747 tons and 9,216 tons respectively. Assuming CPO CIF price at 2000 was US \$ 310/ton (10), exchange rate of Rp 8,500 per US dollar, and local CPO price at Rp 2,350.00/kg, and kernel price of Rp 1,400/kg, the gain of CPO and kernel selling (60 % export and 40 % local) were Rp 38.60 billion and Rp 5.20 billion respectively. Hence, due to low effectiveness of the POM, the OPP Kertajaya lost an opportunity valued Rp 64 billion.

The accumulative (10 years) losses of CPO and kernel at OPP Kertajaya were Rp 10.81 billion and Rp 1.80 billion respectively. Losses at A1B1C1D1 is higher than at OPP Kertajaya due to higher FFB processed in A1B1C1D1 than in OPP Kertajaya.

Table 8. Recycled nutrient N, P₂O₅, K₂O and MgO from frond, EFB and POME from simulation scenario of OPP Kertajaya and A1B1C1D1 (ton)

Year	Recycled N			Recycled P ₂ O ₅			Recycled g K ₂ O			Recycled MgO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2001	94.3	106.8	12.5	22.9	27.2	4.4	116.5	158.6	42.1	41.5	47.2	5.6
2002	100.6	112.3	11.7	24.3	28.4	4.1	121.7	161.0	39.3	44.3	49.5	5.3
2003	102.1	112.7	10.6	24.6	28.3	3.7	122.1	157.9	35.8	45.0	49.8	4.8
2004	101.7	111.7	10.1	24.4	27.9	3.5	120.6	154.5	34.0	44.8	49.3	4.5
2005	101.2	110.9	9.8	24.2	27.7	3.4	118.9	151.8	32.9	44.5	48.9	4.4
2006	129.3	136.4	7.1	30.6	33.0	2.5	142.5	166.4	23.9	56.9	60.1	3.2
2007	139.4	141.2	1.8	32.5	33.1	0.6	143.7	149.6	5.9	61.4	62.2	0.8
2008	44.8	45.0	0.1	10.4	10.5	0.1	45.5	46.0	0.5	19.7	19.8	0.1
2009	28.4	29.9	1.5	6.7	7.2	0.5	30.6	35.7	5.1	12.5	13.2	0.7
2010	45.8	51.1	5.3	11.0	12.8	1.9	53.8	71.6	17.9	20.2	22.6	2.4
Total	887.6	958.0	70.4	211.5	236.2	24.7	1015.9	1253.2	237.3	390.7	422.5	31.8

Note: A = OPP Kertajaya B = A1B1C1D1 (Good OPP) C = difference

Table 9. Oil and kernel losses of simulation using OPP Kertajaya and A1B1C1D1 scenario (ton)

Year	Oil lost			Kernel lost		
	Kertajaya	A1B1C1D1	Difference	Kertajaya	A1B1C1D1	Difference
2001	761	848	87	228	234	6
2002	721	797	76	216	220	4
2003	681	737	56	204	203	-1
2004	640	697	56	192	192	0
2005	600	665	65	180	183	3
2006	430	481	51	129	132	4
2007	106	119	13	32	33	1
2008	9	10	1	3	3	0
2009	71	93	22	21	26	4
2010	269	334	65	81	92	12
Total	4,288	4,781	493	1,285	1,317	32

3.2.2. Cleaner production system at OPP Bah Jambi

Factual condition at OPP Bah Jambi that were used in the scenario for reference model of OPP Bah Jambi were as follows:

1. Acreage 5,961 ha
2. Average plant density of 1996-2000 was 125 tree/ha
3. Nutrient content of the soil: N = 0.44 %, P₂O₅ = 8.9 ppm, K₂O = 0.25 me/100 g and MgO = 0.85 me/100 g
4. Average plant productivity from 1995 (21st year) to 2000 (26th year), were 20.61 ton/ha, 24.11 ton/ha, 24.53 ton/ha, 18.79 ton/ha, 22.78 ton/ha, and 19.62 ton/ha respectively
5. Oil extraction rate from the 12th to the 26th year were 22.01 %, 22.24 %, 22.11%, 22.30 %, and 22.33 %, respectively whilst palm kernel production were 5.27 %, 5.33 %, 5.31 %, 5.35 % and 5.05 %.

Based on the factual data of OPP Bah Jambi, cleaner production model for OPP was found with the following pattern:

1. Plant density 96 % from ideal
2. Nutrient effectiveness 90 % from ideal

3. Production level 60 % from that of S2 class
4. Process efficiency of the POM was 97 % from ideal

With this pattern, validity model for FFB, CPO, palm kernel oil and palm kernel losses were 92.30 %, 92.13 %, 91.86 %, 91.31 % and 84.30 % respectively so that the simulation model is still feasible for the simulation of further scenario.

Comparison between OPP Bah Jambi to good OPP (A1B1C1D1) for 10 years namely from 2001 (the 27th year) to 2010 (the 36th year) resulted the following: Cumulative FFB production for 10 years for OPP Bah Jambi and A1B1C1D1 were 1,135,926 tons and 1,157,085 tons respectively. If the FFB price is Rp 375,-/kg, then the value of cumulative FFB production in OPP Bah Jambi is only Rp 425.97 billion, whereas the value of A1B1C1D1 is Rp 433.91 billion. The productivity level that reached to 98.2% from A1B1C1D1 was due to high low bunch production (16 bunches/tree/year) as well high bunch weight that brought production to 30 ton/ha/year. Such high productivity was

supported by appropriate cultivation technique especially fertilization.

Contribution of fertilizer equivalent nutrient from the recycled frond, empty bunch and palm oil effluent in OPP Bah Jambi for 10 years were 8,407.6 tons Urea, 2,694.2 tons SP-36, 9,467.5 tons MOP and 7,598.2 tons Dolomite.

Within 10 years, accumulative CPO production of OPP Bah Jambi and A1B1C1D1 were 247,916 tons and 234,310 tons respectively whereas the kernel production were 60,602 ton and 57,276 tons respectively. Assuming CPO

CIF price at 2000 of US \$ 310/ton (10), exchange rate of Rp 8,500 per US dollar, and local CPO price at Rp 2,350.00/kg, and kernel price of Rp 1,400/kg, the gain of CPO and kernel selling (60 % export and 40 % local) were Rp 625.00 billion and Rp 84.80 billion respectively.

The accumulative (10 years) losses of CPO and kernel at OPP Bah Jambi were Rp 46.79 billion and Rp 6.39 billion respectively. Losses at A1B1 C1D1 is higher than at OPP Bah Jambi due to higher efficiency of POM Bah Jambi (97%) compared to A1B1C1D1 (90%).

Table 10. Recycled nutrient N, P₂O₅, K₂O and MgO from frond, EFB and POME from simulation scenario OPP Bah Jambi and A1B1C1D1 (ton)

Year	Recycled N			Recycled P ₂ O ₅			Recycled K ₂ O			Recycled MgO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2001	370.7	351.0	-19.8	96.5	91.3	-5.2	586.7	559.0	-27.7	163.9	155.1	-8.8
2002	411.1	388.4	-22.7	105.4	99.5	-5.9	616.9	586.1	-30.8	181.6	171.5	-10.1
2003	388.8	366.9	-21.8	100.0	94.3	-5.7	591.3	560.3	-31.0	171.8	162.0	-9.7
2004	411.1	387.3	-23.7	104.6	98.4	-6.2	601.4	568.3	-33.1	181.6	171.0	-10.6
2005	380.3	358.9	-21.4	97.0	91.5	-5.6	561.9	532.6	-29.2	168.0	158.5	-9.6
2006	340.3	321.3	-19.0	87.8	82.8	-5.0	521.9	494.8	-27.2	150.4	141.9	-8.5
2007	390.9	368.5	-22.3	99.3	93.6	-5.8	569.2	538.6	-30.6	172.6	162.7	-10.0
2008	374.1	352.9	-21.1	95.4	89.9	-5.5	550.9	522.0	-28.9	165.2	155.8	-9.4
2009	347.4	327.2	-20.2	89.3	84.0	-5.4	527.4	497.5	-29.9	153.5	144.5	-9.0
2010	368.8	348.1	-20.8	94.5	89.1	-5.4	553.0	524.1	-28.9	163.0	153.7	-9.3
Total	3783.4	3570.5	-212.9	969.9	914.3	-55.5	5680.5	5383.3	-297.2	1671.6	1576.6	-95.0

Note: A = OPP Bah Jambi B = A1B1C1D1 C = Difference

Table 11. Oil and kernel losses in simulation with scenario OPP Bah Jambi and A1B1C1D1 (ton)

Year	Oil lost			Kernel lost		
	Bah Jambi	A1B1C1D1	Difference	Bah Jambi	A1B1C1D1	Difference
2001	2,118	3,418	1,300	521	942	421
2002	2,013	3,240	1,227	495	893	398
2003	1,983	3,172	1,189	488	874	386
2004	1,859	2,961	1,102	457	816	359
2005	1,774	2,845	1,070	436	784	347
2006	1,779	2,846	1,068	437	784	347
2007	1,741	2,783	1,042	428	767	338
2008	1,728	2,768	1,040	425	763	338
2009	1,762	2,792	1,030	433	769	336
2010	1,802	2,884	1,083	443	795	351
Total	18,560	29,710	11,151	4,564	8,184	3,620

Conclusion and Recommendation

The main result of this study is the design of cleaner production model for OPP which is completely arranged using standard oil palm cultivation technique as the system constructing components and the links among the components exist within the subsystem.

1. Cleaner production model of OPP

was designed under four ideal basic assumptions namely: 1) plant density of 130 tree/ha, 2) fertilizer effectiveness and recycle for N, P₂O₅, K₂O and MgO were 55 %, 30 %, 80 % and 80 % respectively 3) soil suitability class of S1 4) POM effectiveness 100 %, i.e. the POM is capable to reach OER of 22.5 %, kernel of 5.5 %, losses of oil was 1.23 % and of kernel was 0.27 %. Based on these four ideal assumptions, the cleaner production model for good, moderate and poor OPP with range value of 85-100 %, 70-84 % and 55-69 % from value of ideal components.

2. The 25 years cumulative output of the cleaner production model for good, moderate and poor OPP covering

12.000 ha, planted in 6 years is as follows: a) wood gained at the end of replanting program are 631,800 m³, 526,500 m³ and 421,200 m³ respectively; b) FFB production are 5,261,400 ton, 3,987,450 ton and 2,925,840 ton value Rp 1.97 trillion, Rp 1.50 trillion and Rp 1.10 trillion; c) frond dry weight production were 1,133,005 tons, 944,171 ton and 755,336 ton; d) EFB production are 1,136,462 tons, 717,741 tons and 421,321 tons; e) Contribution of total nutrient of frond, EFB and POME equivalent to fertilizers are Rp 118.07 billion, Rp 69.19 billion and Rp 38.85 billion; f) CPO production are 1,065,434 ton, 672,882 ton and 394,988 ton valued Rp 2.68 trillion, 1.69 trillion and Rp 0.99 trillion; g) Total oil losses of 135,097 ton, 180,557 ton and 188,225 ton; h) Palm kernel production of 260,439 ton, 164,482 ton and 96,553 ton value Rp 364.6 billion, Rp 230.3 billion and Rp 135.2 billion; i) Total kernel losses of 37,213 ton, 53,956 ton and 58,131 ton.

3. Factual condition of OPP Kertajaya during the study was as follows : a) Average plant density of 1996-2000 was 117 tree/ha, b) Nutrient content of the soil: N = 0.30 %, P₂O₅ = 7.10 ppm, K₂O = 0.14 me/100 g and MgO = 0.72 me/100 g based on the chemical analysis conducted in 1999, c) Average plant productivity from 1995 (15th year) to 2000 (20th year), were 10.71 ton/ha, 13.58 ton/ha, 14.61 ton/ha, 8.95 ton/ha, 11.25 ton/ha, and 13.23 ton/ha respectively, d) Oil extraction rate from the 16th to the 20th year were 19.40 %, 19.37 %, 17.77 %, 13.48 %, and 16.10 %, respectively whilst palm kernel production were 4.03 %, 3.80 %, 4.28 %, 4.20 % and 3.50 %. Based on verification of the model with factual data, cleaner production model for OPP Kertajaya can be constructed using the pattern: a) Plant density 90 % from ideal, b) Nutrient affectivity 70 % from ideal, c) Production level 60 % from that of S3 class and d) Process efficiency of the POM was 74 % from ideal. With this pattern, validity model for FFB, CPO, palm kernel, oil and palm kernel losses were 92.30 %, 92.13 %, 91.86 %, 91.31 % and 84.30 % respectively so that the simulation model is still feasible for the simulation of further scenario.
4. Factual condition at OPP Bah Jambi are used in the scenario for reference model of OPP Bah Jambi was as follows: a) Average plant density of 1996-2000 was 125 tree/ha, b) Nutrient content of the soil: N = 0.44 %, P₂O₅ = 8.9 ppm, K₂O = 0.25 me/100 g and MgO = 0.85 me/100g, c) Average plant productivity from 1995 (21st year) to 2000 (26th year), were 20.61 ton/ha, 24.11 ton/ha, 24.53 ton/ha, 18.79 ton/ha, 22.78

ton/ha, and 19.62 ton/ha respectively, d) Oil extraction rate from the 12th to the 26th year were 22.01 %, 22.24 %, 22.11 %, 22.30 %, and 22.33 %, respectively whilst palm kernel production were 5.27 %, 5.33 %, 5.31 %, 5.35 % and 5.05 %. Based on the factual data of OPP Bah Jambi, cleaner production model for OPP was found with the following pattern: a) Plant density 96 % from ideal, b) Nutrient affectivity 90 % from ideal, c) Production level 60 % from that of S2 class, d) Process efficiency of the POM was 97 % from ideal. With this pattern, validity model for FFB, CPO, palm kernel, oil and palm kernel losses were 92.30 %, 92.13 %, 91.86 %, 91.31 % and 84.30 % respectively so that the simulation model is still feasible for the simulation of further scenario.

The simulation model can be further revised be more holistic by adding some more components namely microorganism lost due to burning, residue of the insecticides, pesticides and herbicides, land and water conservation, effect of frond EFB and POME recycle.

The system can be further broadened by adding economic study elaborating the value of environmental losses attribute to oil palm investation in a particular area so that the decision taken for investment on oil palm does not cause any negative impact either the natural or social environment.

Reference

1. ADIWIGANDA, T., Z. POELOENGAN, R. ADIWIGANDA, M.M. SIAHAAN, P. PURBA and SUGIYONO, 1997. Penentuan dosis pupuk N, P, K, Mg untuk tanaman kelapa

- sawit menghasilkan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. IN. 9710. Medan.
2. AMRI, H.S. 1999. Audit energi pada proses produksi CPO di pabrik kelapa sawit Kertajaya, PTP Nusantara VIII, Banten Selatan. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 71-72.
3. BADAN PENGENDALIAN DAMPAK LINGKUNGAN. 1995. National commitment to implement a cleaner production strategy in Indonesia. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. Jakarta. 3-8.
4. DAHURI, R. 1998. Materi kuliah mata ajaran analisis sistem and permodelan dalam pengelolaan lingkungan. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam and Lingkungan, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
5. DIREKTORAT JENDERAL BINA PRODUKSI PERKEBUNAN. 2000. Luas areal dan produksi kelapa sawit menurut propinsi di Indonesia tahun 1998 sampai 2000. Jakarta.
6. HARTLEY, C.W.S. 1988. The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Third Edition. Longman Scientific and Technical. John Wiley & Son, Inc., New York.
7. HENSON, I.E. 1994. Environmental impacts of oil palm plantations in Malaysia. Palm Oil Research Institute of Malaysia. Ministry of Primary Industries, Kuala Lumpur, Malaysia.
8. IBRAHIM, A. 1995. Outlook of palm oil in relation to other oils and fats. Malaysian Palm Oil Promotion Council, Kuala Lumpur, Malaysia.
9. INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRI ASSOCIATION (IFA) – United Nations Environment Programme (UNEP). 2000. Mineral fertilizer use and the environment. France. 23-28.
10. ISTA MIELKE GMBH. 2000. Statistic update. Oil World 2000. Ista Mielke GMBH. Hamburg.
11. MULYONO, D.S. 1997. Manajemen pabrik kelapa sawit yang efisien. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit. Medan, 16 Desember 1997. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
12. NG S.K. 1972. The oil Palm, Its Culture, Manuring and Utilisation. International Potash Institute, Switzerland, in collaboration with Institut de Recherches pour les Huiles et Oleagineux (I.R.H.O). France.
13. PAMIN, K., DARNOKO and P. GURITNO. 1995. Strategi pengelolaan limbah perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Warta PPKS 1995. Vol. 3(2). Medan. 47-53.
14. SURATMO, F.G. 1998. Indonesian perspective and experiences on forest fire management. Paper for FAO Consultating on Public Policies Affecting Forest Fire in Rome, October 28 –30 1998. Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University.
15. UEXKULL, H.R.V. and T.H. FAIRHURST. 1991. Fertilizing for high yield and quality the oil palm. IPI Bulletin No. 12. International Potash Institute. Switzerland.
16. VELAYUTHAN, A. and K.L. CHAN. 1982. Efficiency of palm oil extraction and quality control. Proceedings of Regional Workshop on Palm Oil Mill Technology and Effluent Treatment. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.
17. VON UEXKULL, H.R. and T.H. FAIRHURST. 1991. Fertilizing for high yield and quality the oil palm. International Potash Institute Bulletin No. 12. Bern/ Switzerland.
18. ZULNERLIN and A.F. IBRAHIM. 1999. Experience in zero burning in plantations of PT. PP. London Sumatra Indonesia Tbk. Proceeding of The 1999 PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture). Kuala Lumpur, Malaysia.