

PEMBANGUNAN MODEL PENGOPTIMUMAN PENGELUARAN MINYAK SAWIT DAN ISIRONG SAWIT MENGUNAKAN PENDEKATAN GENETIK KABUR

LILY AMELIA^{1*}, DZURAIDAH ABD. WAHAB² & AZMI HASSAN³

Abstrak. Pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit sering kali menghadapi masalah, antara lain kadar kehilangan minyak sawit dan isirong sawit yang tinggi semasa pemprosesan dan penggunaan sumber-sumber yang tidak optimum. Model pengoptimuman pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit perlu direka bentuk untuk menyelesaikan permasalahan tersebut sehingga dapat memaksimumkan hasil, meminimumkan kos pengeluaran serta meminimumkan kehilangan minyak sawit dan isirong sawit. Model yang dibangunkan adalah gabungan antara model sistem pakar kabur dengan model pengaturcaraan pelbagai objektif. Pengoptimuman model dilakukan dengan menggunakan kaedah algoritma genetik. Model disimulasikan menggunakan data daripada sebuah kilang minyak sawit di Indonesia dan hasil kajian membuktikan pencapaian pengeluaran yang lebih baik serta kehilangan minyak sawit dan isirong sawit yang lebih kecil berbanding keadaan pengeluaran sedia ada di kilang minyak sawit tersebut.

Kata kunci: Minyak sawit mentah, pengoptimuman pengeluaran, sistem pakar kabur, model pengaturcaraan pelbagai objektif, algoritma genetik

Abstract. The production of crude palm oil and palm kernel are frequented by problems, among others the high loss of crude palm oil and palm kernel during processing and the consumption of resources that are not optimised. An optimisation model for crude palm oil and palm kernel production has to be developed to solve these problems so as to maximise revenue, minimise production costs as well as to minimise palm oil and palm kernel losses. The developed model is an integration between fuzzy expert system models and multi objective programming model. Model optimisation is performed using the genetic algorithm method. The model was simulated using data from a palm oil mill in Indonesia and results from the study show that the model produces an optimum quantity of production and capable of reducing palm oil and palm kernel losses compared with the existing production conditions in the palm oil mill.

Keywords: Crude palm oil, production optimisation, fuzzy expert system, multi objective programming model, genetic algorithm

1.0 PENGENALAN

Pemprosesan minyak sawit dan isirong sawit melibatkan pemprosesan pada enam stesen, iaitu: stesen tanjakan pembebanan, stesen pengukusan, stesen peleraian,

¹⁻³ Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

* Penulis utama: Tel: +60169159379, Email: lily_amel@yahoo.com

stesen pencerna dan penekanan, stesen penjernihan dan stesen isirong sawit. Tandan buah segar kelapa sawit (TBS) yang masuk akan ditampung di tanjakan pembebanan sebelum dikukus pada alat pengukus. TBS yang telah dikukus kemudian dihantar ke mesin peleraai untuk melepaskan buah daripada tandan. Buah yang terlepas daripada tandan seterusnya dibawa ke mesin pencerna untuk diadukkan sehingga isi buah dapat diasingkan daripada biji sawit. Buah-buah yang telah diaduk dimasukkan ke dalam penyampai skru yang mendorongnya masuk ke dalam mesin penekan skru. Minyak mentah yang diperolehi daripada hasil penekanan terdiri daripada campuran minyak, air dan pepejal bukan minyak (NOS). Oleh sebab itu, minyak tersebut perlu ditulenkan secara berperingkat di stesen penjernihan. Biji sawit yang terpisah dari isi buah pada proses pengadukan diolah lebih lanjut di stesen isirong sawit. Campuran hampas dan biji yang keluar dari penekan skru selanjutnya diproses di stesen isirong sawit untuk mengeluarkan isirong sawit dan sisa buangan berupa hampas dan tempurung.

Antara sasaran utama sesebuah kilang pengolahan minyak sawit ialah untuk mengoptimumkan pengeluaran minyak sawit (CPO) dan isirong sawit. Namun demikian, kilang tidak mampu mengeluarkan jumlah minyak sawit yang setara dengan kandungan minyak sawit yang terdapat di dalam TBS kerana berlakunya kehilangan minyak sawit semasa pemprosesan. Lazimnya kilang hanya dapat meminimumkan kehilangan minyak sawit dan isirong sawit semasa pemprosesan. Kehilangan minyak sawit dan isirong sawit boleh diminimumkan apabila pembolehubah-pembolehubah proses dioptimumkan.

Perancangan pengeluaran yang baik sangat diperlukan untuk mengoptimumkan pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit. Kajian ini mencadangkan pembangunan model pengoptimuman perancangan pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang bermatlamat untuk mencapai sasaran-sasaran tersebut. Model pengoptimuman pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang dibangunkan merupakan model pengaturcaraan pelbagai objektif yang digabungkan dengan model kualitatif sistem pakar kabur. Model sistem pakar kabur menggambarkan hubungan antara jumlah kehilangan minyak sawit dan isirong sawit dengan pembolehubah-pembolehubah pemprosesan yang mempengaruhinya. Penggunaan model sistem pakar kabur ini dicadangkan memandangkan sangat sukar untuk menyatakan hubungan tersebut dalam suatu model matematik atau model kuantitatif.

Aplikasi sistem pakar kabur bermula pada model kawalan kabur yang dibangunkan oleh Mamdani dan Assilian bagi mengawal suatu enjin stim secara automatik [1]. Sehingga kini, sistem pakar kabur Mamdani telah banyak diaplikasikan dalam pelbagai bidang. Sebagai contoh, aplikasi sistem pakar kabur Mamdani bagi pengoptimuman sistem kawalan talian paip gas asli [2], proses pengacuanan

suntikan dalam pembuatan polimer [3] dan sistem kawalan kabur pada mesin tempaan hidraulik [4]. Selain itu, model kawalan kabur berasaskan sistem pakar kabur Mamdani juga dibangunkan oleh Lee *et al.* [5] untuk mengawal mesin penyemperit skru kembar, manakala Sarfi dan Soho [6] mengoptimumkan sistem pengagihan kuasa elektrik. Model sistem pakar kabur Mamdani juga diaplikasikan oleh Peres *et al.* [7] pada proses pengisaran logam, Rywotcyki [8] untuk mengawal proses menggoreng makanan dan Neuroth *et al.* [9] dalam pengangkutan minyak dan gas.

Model pengoptimuman pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang dicadangkan dioptimumkan dengan kaedah algoritma genetik. Pengoptimuman dengan kaedah algoritma genetik telah digunakan pada beberapa industri, antaranya proses relau kaca [10], industri pemasangan [11], sistem kawalan kabur hidrosiklon [12], sistem kawalan kabur pada reaktor tangki pengadukan berterusan [13], sistem pakar kabur pengkelasan jenis kecacatan pada kimpalan [14], industri pulpa dan kertas [15], proses pengujian separuh pengalir [16] dan reaktor proses pempolimeran radikal bebas [17]. Namun demikian, kaedah algoritma genetik belum pernah diaplikasikan dalam penyelesaian masalah pengoptimuman pengeluaran minyak sawit mentah.

2.0 PEMBANGUNAN MODEL

2.1 Model Sistem Pakar Kabur

Model yang menyatakan hubungan antara jumlah kehilangan minyak sawit dan isirong sawit dengan pembolehubah-pembolehubah proses yang mempengaruhinya direka bentuk dengan menggunakan pendekatan sistem pakar kabur Mamdani [18]. Model sistem pakar kabur dibangunkan berasaskan pengetahuan dan pengalaman para pakar dalam bidang minyak sawit dan berasaskan kepada logik manusia yang sederhana dan mudah difahami.

Kehilangan minyak sawit berlaku di stesen pengukusan dan peleraian, stesen pengadukan dan penekanan, serta stesen penjernihan. Manakala, kehilangan isirong sawit berlaku di stesen pengadukan dan penekanan serta stesen isirong sawit. Dengan demikian, terdapat 4 (empat) bahagian model sistem pakar kabur yang direka bentuk, iaitu: model sistem pakar kabur pada stesen pengukusan dan peleraian, model sistem pakar kabur pada stesen pencerna dan penekanan, model sistem pakar kabur pada stesen penjernihan dan model sistem pakar kabur pada stesen isirong sawit. Berasaskan kepada sistem taabir Mamdani, terdapat 3 tahap pembangunan model, iaitu: pengkaburan, pembentukan enjin taabir dan penyahkaburan [18].

2.1.1 Pengkaburan

Kehilangan minyak sawit di stesen pengukusan dan peleraian terdapat dalam air sisa pengukusan (air kondensat), tandan kosong dan di dalam buah ikut tandan. Ini dikesan oleh beberapa pembolehubah seperti kadar peratus buah mentah di dalam tandan buah segar (TBS), masa pengukusan dan tekanan stim.

Jika masa pengukusan dan tekanan stim meningkat, jumlah kehilangan minyak sawit di dalam air kondensat dan di dalam tandan kosong akan meningkat, tetapi jumlah kehilangan minyak sawit di dalam buah ikut tandan akan menurun [19]. Pembolehubah masukan dan keluaran kabur pada stesen pengukusan dan peleraian dipaparkan dalam Jadual 1.

Jadual 1 Pembolehubah kabur pada stesen pengukusan dan peleraian

No.	Pembolehubah kabur	Peringkat kabur
1.	Pembolehubah masukan kabur:	
a.	Peratus buah mentah di dalam tandan buah segar (X_{12})	Rendah, tinggi
b.	Masa pengukusan (X_{22})	Kurang, sedang, lama
c.	Tekanan stim (X_{32})	Rendah, sedang, tinggi
2.	Pembolehubah keluaran kabur:	
a.	Peratus kehilangan minyak sawit di dalam air kondensat (OW_{12})	Rendah, sedang, tinggi
b.	Peratus kehilangan minyak sawit di dalam tandan kosong (OW_{13})	Rendah, sedang, tinggi
c.	Peratus kehilangan minyak sawit di dalam buah ikut tandan (OW_{23})	Rendah, sedang, tinggi

Pada stesen pencerna dan penekanan, tekanan penekan skru sangat memberi kesan terhadap jumlah minyak sawit yang dikeluarkan. Apabila tekanan terlalu rendah, maka hampas masih mengandungi kadar minyak sawit yang tinggi dan sebaliknya. Faktor-faktor lain yang secara nyata memberikan kesan terhadap kehilangan minyak sawit dan isirong sawit di stesen pencerna dan penekanan adalah masa pengadukan dan suhu pengadukan. Pada stesen penjernihan, kehilangan minyak sawit dikesan oleh beberapa pembolehubah proses, antaranya suhu tangki pengenapan berterusan (CST), suhu penyiring dan kadar pepejal (minyak dan pepejal bukan minyak/NOS) di dalam minyak mentah yang masuk ke dalam penyiring [20]. Kehilangan minyak sawit di stesen penjernihan dikesan di dalam sisa pepejal penyiring dan di dalam effluen kilang minyak sawit. Pembolehubah masukan kabur dan keluaran kabur pada stesen pencerna dan penekanan serta stesen penjernihan dapat dilihat dalam Jadual 2 dan Jadual 3.

Jadual 2 Pembolehubah kabur pada stesen pencerna dan penekanan

No.	Pembolehubah kabur	Peringkat kabur
1.	Pembolehubah masukan kabur:	Kurang, sedang, lama
	a. Masa pengadukan (X_{14})	
	b. Suhu pengadukan (X_{24})	Rendah, sedang, tinggi
	c. Tekanan penekan skru (X_{34})	Rendah, sedang, tinggi
2.	Pembolehubah keluaran kabur:	
	a. Peratus kehilangan minyak sawit di dalam hampas (OW_{14})	Rendah, sedang, tinggi
	b. Peratus kehilangan isirong sawit di dalam hampas (KW_{14})	Rendah, sedang, tinggi

Jadual 3 Pembolehubah kabur pada stesen penjernihan

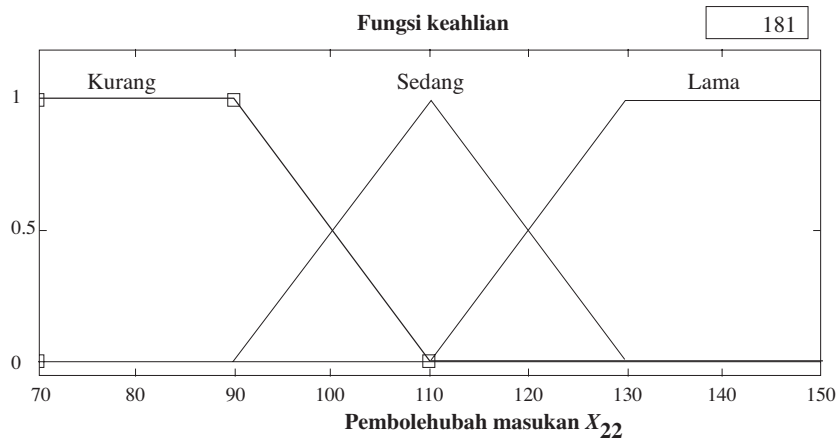
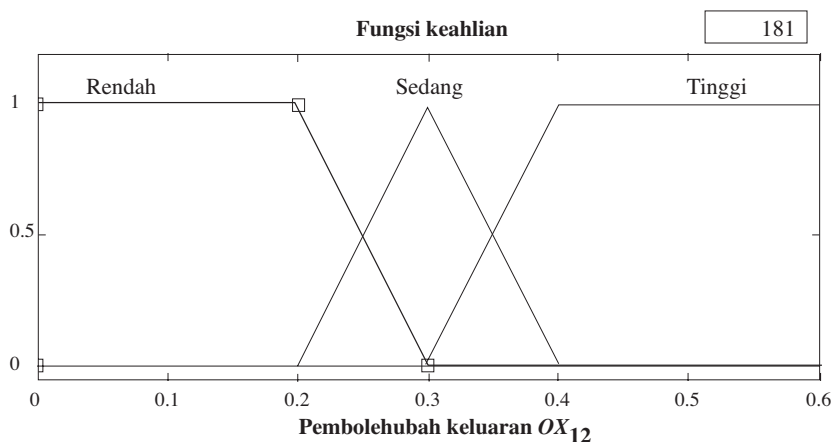
No.	Pembolehubah kabur	Set kabur
1.	Pembolehubah masukan kabur:	Rendah, sedang, tinggi
	a. Suhu CST (X_{15})	
	b. Suhu penyiring (X_{25})	Rendah, sedang, tinggi
	c. % kadar minyak dan NOS di dalam minyak mentah yang masuk ke dalam penyiring (X_{35})	Rendah, sedang, tinggi
2.	Pembolehubah keluaran kabur:	
	a. % kehilangan minyak sawit di dalam effluen kilang minyak sawit (OW_{15})	Rendah, sedang, tinggi
	b. % kehilangan minyak sawit di dalam pepejal penyiring (OW_{25})	Rendah, sedang, tinggi

Menurut pengalaman dan pengetahuan pakar, pembolehubah-pembolehubah proses yang menjadi punca utama kehilangan isirong sawit pada stesen isirong sawit adalah kelajuan pusingan pada pengisar riak serta kelajuan sedutan udara pada kolum pemisah LTDS I dan LTDS II. Pembolehubah ini dikesan menyebabkan kehilangan isirong sawit pada LTDS I dan II (lihat Jadual 4).

Fungsi-fungsi keahlian kabur untuk setiap pembolehubah masukan dan keluaran kabur pada keempat-empat stesen tersebut dinyatakan dalam bentuk lengkungan segitiga dan trapezium. Bentuk lengkungan ini sederhana, mudah ditentukan dan sesuai untuk menggambarkan pembolehubah proses pengeluaran minyak sawit (lihat Rajah 1 dan Rajah 2).

Jadual 4 Pembolehubah kabur pada stesen isirong sawit

No.	Pembolehubah kabur	Peringkat kabur
1.	Pembolehubah masukan kabur:	
a.	Kelajuan pusingan pemutar pengisar riak (X_{16})	Rendah, sedang, tinggi
b.	Kelajuan sedutan udara pada LTDS I (X_{26})	Rendah, sedang, tinggi
c.	Kelajuan sedutan udara pada LTDS II (X_{36})	Rendah, sedang, tinggi
2.	Pembolehubah keluaran kabur:	
a.	% peratus kehilangan isirong sawit pada LTDS I & II (KW_{16})	Rendah, sedang, tinggi
b.	% kadar kotoran di dalam isirong sawit (KK_6)	Rendah, sedang, tinggi

**Rajah 1** Fungsi keahlian kabur daripada masa pengukusan (X_{22})**Rajah 2** Fungsi keahlian kabur daripada peratus kehilangan minyak sawit di dalam air kondensat (OW_{12})

2.1.2 Enjin Taabir

Berasaskan pengetahuan dan pengalaman para pakar, aturan kabur jika-maka untuk setiap stesen dibangunkan. Terdapat 18 aturan kabur pada stesen pengukusan dan peleraian, seperti contoh :

Aturan 1 : Jika {Peratus buah mentah di dalam TBS tinggi} dan {Masa pengukusan lama} dan {Tekanan stim tinggi} maka {Peratus kehilangan minyak sawit dalam air kondensat tinggi} dan {Peratus kehilangan minyak sawit di dalam tandan kosong tinggi} dan {Peratus buah ikut tandan rendah}.

Pada stesen pencerna dan penekanan terdapat 27 aturan kabur jika-maka yang ditakrifkan, seperti contoh :

Aturan 1 : Jika {Masa pengadukan lama} dan {Suhu pengadukan tinggi} dan {Tekanan penekan skru tinggi} maka {Peratus kehilangan minyak sawit dalam hampas rendah} dan {Peratus kehilangan isirong sawit dalam hampas tinggi}.

Manakala terdapat sebanyak 27 aturan kabur jika-maka yang juga ditakrifkan untuk stesen penjernihan, seperti contoh :

Aturan 1 : Jika {Suhu CST tinggi} dan {Suhu penyiring tinggi} dan {Kadar minyak dan pepejal bukan minyak di dalam minyak mentah yang masuk ke dalam penyiring tinggi} maka {Peratus kehilangan minyak sawit di dalam effluen kilang minyak sawit tinggi} dan {Peratus kehilangan minyak sawit di dalam sisa pepejal penyiring tinggi}.

Pada stesen isirong sawit, 27 aturan kabur jika-maka juga dibangunkan, seperti contoh:

Aturan 1 : Jika {Kelajuan pusingan pemutar pengisar riak tinggi} dan {Kelajuan sedutan udara pada LTDS I tinggi} dan {Kelajuan sedutan udara pada LTDS II tinggi} maka {Peratus kehilangan isirong sawit pada LTDS I dan II tinggi} dan {Kadar kotoran dalam isirong sawit rendah}.

2.1.3 Penyahkaburan

Kajian ini mencadangkan pengiraan kaedah penyahkaburan pusat graviti (COG) dengan suatu rumusan penghampiran yang mencari nilai momen (titik pusat graviti) daripada lengkungan agregat pembolehkan keluaran kabur secara geometrik. Lengkungan pembolehkan keluaran kabur dibahagi menjadi lengkungan segitiga dan segiempat, dan nilai momen masing-masing lengkungan ditentukan. Penjumlahan nilai momen ini untuk satu peringkat kabur kemudian didarab dengan suatu faktor pemberat, iaitu nilai darjah keahlian (μ) didarab

dengan besarnya julat pada masing-masing peringkat kabur. Dengan demikian, jika pembolehubah keluaran kabur OW_{ij} mempunyai k peringkat kabur dan setiap lengkungan peringkat kabur dapat dibahagi menjadi i buah lengkungan segitiga dan segiempat, maka nilai OW_{ij} sebenar berasaskan rumus penghampiran kaedah pusat graviti yang dicadangkan adalah seperti berikut :

$$\text{Nilai } OW_{ij} = \frac{\sum_k (\sum_i \text{nilai momen lengk. segitiga / segiempat}_i)_k * \text{faktor pemberat}_k}{\sum_k \text{faktor pemberat}_k} \quad (1)$$

yang mana, faktor pemberat $k = \mu_{OW_{ij}} * \text{julat } OW_{ij}$ pada peringkat kabur ke- k .

Berasaskan rumus penghampiran ini, model sistem pakar kabur boleh dibangunkan menggunakan *Microsoft®Excel 2002* dan digabungkan dengan model pengaturcaraan pelbagai objektif kabur. Hasil pengiraan dengan rumus penghampiran ini mendekati hasil pengiraan dengan rumusan kaedah COG sebenarnya.

2.2 Model Pengoptimuman Pengeluaran Minyak Sawit dan Isirong Sawit

Model pengoptimuman pengaturcaraan pelbagai objektif pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang dicadangkan adalah untuk mencapai empat objektif, iaitu: memaksimumkan pendapatan (*revenue*), meminimumkan jumlah kos pengeluaran, meminimumkan kehilangan minyak sawit dan meminimumkan kehilangan isirong sawit. Pencapaian objektif-objektif tersebut adalah terhad kepada ketersediaan sumber-sumber, seperti bahan mentah TBS, imbalan bahan, imbalan inventori, kapasiti dan masa pengeluaran, kapasiti penyimpanan, ketersediaan stim, elektrik dan air, had kehilangan minyak dan isirong sawit serta ketersediaan pekerja (lihat Apendiks A).

Model pengoptimuman pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit ini merupakan gabungan antara model pengaturcaraan pelbagai objektif dengan model sistem pakar kabur kehilangan minyak sawit dan isirong sawit. Kaitan antara kedua-dua model dinyatakan pada objektif ketiga dan objektif keempat, iaitu meminimumkan kehilangan minyak sawit dan isirong sawit. Manakala, peratus kehilangan minyak sawit dan isirong sawit ini (OW_{12} , OW_{13} , OW_{23} , OW_{14} , KW_{14} , OW_{15} , OW_{25} dan KW_{16}) ditentukan berasaskan model kualitatif sistem pakar kabur tersebut. Model secara keseluruhan dibangunkan dengan menggunakan perisian *Microsoft®Excel 2002*. Pengubahsuaian sebagai model pengaturcaraan satu objektif dilakukan dengan

memberikan pemberat kepada setiap objektif [21]. Dengan demikian, model pada Apendiks A yang mempunyai empat objektif diubahsuai dengan kaedah berpemberat (*Weighting method*) menjadi model pengaturcaraan satu objektif seperti berikut:

$$\text{Maks : } Z_{wm} = w_1 Z_1 + w_2 Z_2 + w_3 Z_3 + w_4 Z_4 \dots\dots\dots (2)$$

Terhadap: Fungsi-fungsi kekangan 9 – 18, dan OW_{12} , OW_{13} , dan OW_{23} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengukusan dan peleraian. OW_{14} dan KW_{14} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengadukan dan penekanan. OW_{15} dan OW_{25} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen penjernihan. KW_{16} dan KK_6 dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen isirong sawit.

Z_{wm} pada model di atas dapat ditakrifkan sebagai nilai daripada pendapatan dikurangkan dengan jumlah kos pengeluaran, dikurangkan pula dengan kehilangan minyak sawit (dalam unit kos) dan dengan kehilangan isirong sawit (dalam unit kos). Dengan demikian, hasil pengubahsuaian model dengan kaedah berpemberat menjadi seperti berikut :

$$\text{Maks : } Z_{wm} = Z_1 - Z_2 - pcpo * Z_3 - pkl * Z_4 \dots\dots\dots (3)$$

Terhadap : Fungsi-fungsi kekangan 9 – 18, dan OW_{12} , OW_{13} , dan OW_{23} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengukusan dan peleraian. OW_{14} dan KW_{14} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengadukan dan penekanan. OW_{15} dan OW_{25} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen penjernihan. KW_{16} dan KK_6 dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen isirong sawit.

3.0 HASIL PENGOPTIMUMAN

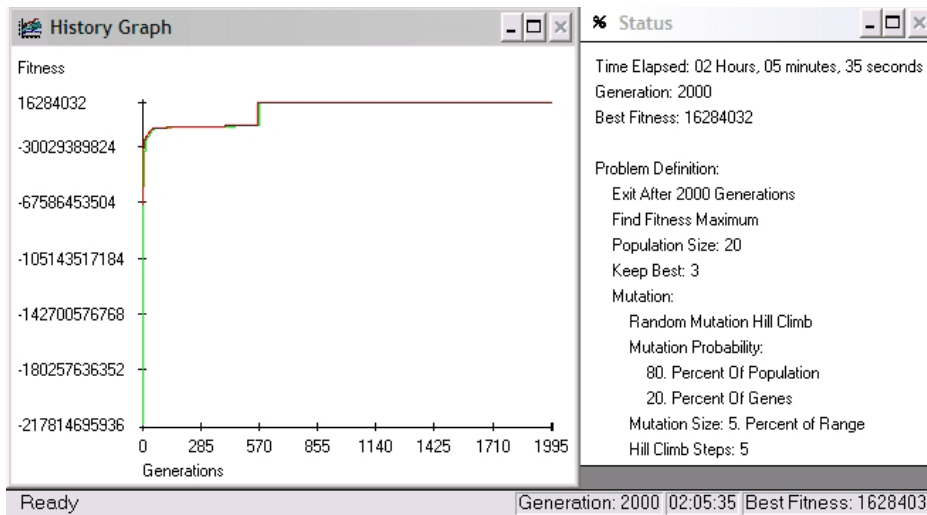
Algoritma genetik adalah kaedah pengoptimuman heuristik yang mana mekanisma pencariannya berasaskan seleksi genetik secara semula jadi dengan bantuan 3 jenis pengendali, iaitu: reproduksi, persilangan dan mutasi [22]. Pencarian nilai-nilai optimum dengan kaedah algoritma genetik ini menggunakan perisian *GA Generator* ([®]*NLI-Gen v.1.0*). Simulasi model dilakukan dengan menggunakan data-data parameter proses pengeluaran pada kilang minyak sawit PT. Perkebunan Nusantara VII (PTPN VII) yang terletak di daerah Sumatera Selatan, Indonesia.

Fungsi kekuatan pada pengoptimuman dengan algoritma genetik adalah memaksimumkan fungsi objektif Z_{wm} dikurangkan dengan jumlah penalti. Fungsi penalti dikira berasaskan kaedah penalti Homaifar, Qi dan Lai [23], iaitu:

$$\text{Maks : Fungsi kekuatan} = Z_{wm} - \text{penalti } (p(x)) \dots\dots\dots (4)$$

yang mana besarnya $p(x)$ sama dengan $\sum r_i (g_i(x) - b_i)^2$.

Pengoptimuman dengan kaedah algoritma genetik dilakukan dengan beberapa kali pengulangan generasi dengan mengubah nilai pekali penalti (r_i) secara cuba-ralat. Nilai Z_{wm}^* optimum yang diperolehi selama 7 hari tempoh perancangan pengeluaran adalah 16 284 032 unit kos. Pada keadaan ini, hasil penjualan maksimum (Z_1^*) adalah 1 780 004 144 unit kos, jumlah kos pengeluaran minimum (Z_2^*) adalah 1 668 262 586 unit kos, jumlah kehilangan minyak sawit minimum (Z_3^*) adalah 26 602.08 kg, dan jumlah kehilangan isirong sawit minimum (Z_4^*) adalah 10 446.38 kg. Pencapaian ini diperolehi oleh [®]*NLI-Gen* pada generasi ke-2000 selama 2 jam 5 minit 35 saat dengan menggunakan komputer Intel Pentium IV 2.4 GHz (lihat Rajah 3).



Rajah 3 Nilai Z_{wm}^* optimum

Nilai objektif optimum ini dicapai dengan mengawal pembolehubah-pembolehubah keputusan pada keadaan seperti yang dipaparkan dalam Jadual 6. Hasil optimum daripada model menunjukkan perolehan yang lebih baik berbanding dengan keadaan sebenar di kilang. Kadar peratus kehilangan minyak

sawit dalam air kondensat, tandan kosong, efluen kilang minyak sawit dan sisa buangan penyiring yang diperolehi daripada model adalah 0.16%, 1.69%, 0.48% dan 2.38% lebih rendah berbanding dengan peratus kehilangan minyak sawit sebenar di kilang PTPN VII. Manakala kehilangan isirong sawit di LTDS I dan II yang diperolehi daripada model adalah 3.125% berbanding dengan 24.66% pada keadaan sebenar di kilang minyak sawit. Selain itu, jumlah tandan buah segar (TBS) yang diolah adalah juga lebih optimum, iaitu sejumlah 2 440 497.04 kg TBS berbanding dengan keadaan sebenar yang mana kilang hanya mengolah sebanyak 1 546 600 kg TBS atau hanya 63.4% daripada jumlah TBS yang masuk.

Jadual 6 Nilai-nilai optimum pembolehubah keputusan

No.	Pembolehubah-pembolehubah keputusan	Nilai optimum
1.	Masa pengukusan (X_{22}^*)	110 minit
2.	Tekanan stim (X_{32}^*)	2.9 kg/cm ²
3.	Masa pengadukan (X_{14}^*)	24.2 minit
4.	Suhu pengadukan (X_{24}^*)	93.8°C
5.	Tekanan penekan skru (X_{34}^*)	39.4 ampere
6.	Suhu tangki pegenapan berterusan (X_{15}^*)	90°C
7.	Suhu penyiring (X_{25}^*)	90°C
8.	Kadar pepejal dalam minyak mentah yang masuk ke dalam penyiring (X_{35}^*)	55%
9.	Kelajuan pusingan pengisar riak (X_{16}^*)	1950 rpm
10.	Kelajuan sedutan udara pada LTDS I (X_{26}^*)	10 m/s
11.	Kelajuan sedutan udara pada LTDS II (X_{36}^*)	14 m/s
12.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-1 (TBS ^o ₁)	375 166.19 kg
13.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-2 (TBS ^o ₂)	419 972.03 kg
14.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-3 (TBS ^o ₃)	246 499.97 kg
15.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-4 (TBS ^o ₄)	96 975.57 kg
16.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-5 (TBS ^o ₅)	265 185.34 kg
17.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-6 (TBS ^o ₆)	381 994.19 kg
18.	Jumlah TBS diolah pada hari ke-7 (TBS ^o ₇)	654 703.75 kg

Jumlah minyak sawit dan isirong sawit yang dihasilkan model adalah juga lebih maksimum, iaitu sebanyak 552 509.76 kg minyak sawit dan 128 661.96 kg isirong sawit berbanding dengan hasil pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang sebenarnya iaitu 317 752 kg minyak sawit dan 73 260 kg isirong sawit. Demikian pula kadar perolehan minyak sawit dan isirong sawit berasaskan model adalah lebih tinggi daripada kadar perolehan sebenarnya iaitu 21.41% dan 5.27%. Manakala, kadar perolehan minyak sawit dan isirong sawit sebenar ialah 20.55% dan 4.74%.

Dengan menggunakan parameter-parameter pemrosesan di kilang PTPN VII, model telah berjaya menghasilkan nilai-nilai optimum pembolehubah proses dan pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit, sehingga memperoleh pendapatan yang lebih maksimum serta jumlah kehilangan minyak sawit dan isirong sawit yang lebih minimum. Nilai-nilai pembolehubah optimum pada proses pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit yang diperolehi pada kajian ini, bagaimanapun belum diaplikasikan kepada proses sebenar pengeluaran minyak sawit di kilang tersebut. Ini disebabkan kesukaran untuk memperolehi kebenaran daripada pihak kilang untuk melakukan verifikasi model yang telah dibangunkan pada proses pengeluaran sebenar di kilang.

4.0 KESIMPULAN

Model pengoptimuman pengeluaran minyak sawit dan isirong sawit boleh dibangunkan dengan menggunakan pendekatan sistem pakar kabur yang digabungkan dengan model pengaturcaraan pelbagai objektif. Model ini dapat mengoptimumkan sasaran yang hendak dicapai oleh kilang minyak sawit seperti memaksimumkan hasil, meminimumkan kos pengeluaran serta meminimumkan kehilangan minyak sawit dan isirong sawit semasa pemrosesan. Dengan menggunakan rumus penghampiran kaedah penyahkaburan pusat graviti, model dapat dibangunkan menggunakan *Microsoft®Excel* dan dioptimumkan dengan kaedah algoritma genetik menggunakan perisian *GA Generator (®NLI-Gen v.1.0)*. Pemberian penalti Homaifar, Q_i dan L_{ai} kepada fungsi-fungsi kekangan dengan mempelbagaikan nilai pekali penalti dapat menghasilkan nilai-nilai optimum daripada model. Model juga memberikan hasil yang lebih optimum berbanding keadaan sebenar di kilang minyak sawit.

RUJUKAN

- [1] Mamdani, E. H. dan S. Assilian. 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *Man Machine Studies*. 7(1): 1-13.
- [2] Sun, C. K., V. Uraikul, C. W. Chan dan P. Tontiwachwuthikul. 2000. An Integrated Expert System/ Operation Reseach Approach for the Optimization of Natural Gas Pipeline Operations. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 13: 465- 475.

- [3] Vagelatos, G. A., G. G. Rigatos, dan S. G. Tzafestas. 2001. Incremental Fuzzy Supervisory Controller Design for Optimizing the Injection Molding Process. *Expert Systems with Applications*. 20: 207-216.
- [4] Lee, Y. H. dan R. Kopp. 2001. Application of Fuzzy Control for a Hydraulic Forging Machine. *Fuzzy Sets and Systems*. 118(1): 99-108.
- [5] Lee, S. J., C. G. Hong, T. S. Han, J. Y. Kang, dan Y. A. Kwon. 2002. Application of Fuzzy Control to Start up of Twin Screw Extruder. *Food Control*. 13(4-5): 301-306.
- [6] Sarfi, R. J. dan A. M. G. Solo. 2002. Network Radiality, Parameter and Performance Heuristics in Optimization of Power Distribution System Operations Part 2: Fuzzification of Rule Base. *Electrical Power and Energy Systems*. 24(8): 683-692.
- [7] Peres, C. R., R. E. H. Guerra, R. H. H. A. Alique, dan S. Ros. 1999. Fuzzy Model and Hierarchical Fuzzy Control Integration: An Approach for Milling Process Optimization. *Computers in Industry*. 39(3): 199-207.
- [8] Rywotycki, R. 2003. Food Frying Process Control System. *Journal of Food Engineering*. 59(4): 339-342.
- [9] Neuroth, M., P. McConnell, F. Stronach, dan P. Vamplew. 2000. Improved Modeling and Control of Oil and Gas Transport Facility Operations Using Artificial and Intelligence. *Knowledge Based Systems*. 13(2-3): 81-92.
- [10] Pina, J. M. dan P. U. Lima. 2003. A Glass Furnace Operation System Using Fuzzy Modeling and Genetic Algorithms for Performance Optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 16(7-8): 681-690.
- [11] Tiwari, M. K. dan D. Roy. 2002. Application of an Evolutionary Fuzzy System for the Estimation of Workforce Deployment and Cross-training in an Assembly Environment. *International Journal of Production Research*. 40(10): 4651-4674.
- [12] Karr, C. L., D. A. Stanley, dan B. McWhorter. 2000. Optimization of Hydrocyclone Operation Using Geno-fuzzy Algorithm. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 186(2-4): 517-530.
- [13] Bellarbi, K., F. Titel, W. Bourebia, dan K. Benmahammed. 2005. Design of Mamdani Fuzzy Logic Controllers with Rule Base Minimization Using Genetic Algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 18(7): 875-880.
- [14] Liao, T. W. 2003. Classification of Welding Flaw Types with Fuzzy Expert Systems. *Expert Sistem with Application*. 25: 101-111.
- [15] Santos, A. dan A. Dourado. 1999. Global Optimization of Energy and Production in Process Industries: A Genetic Algorithm Application. *Control Engineering Practice*. 7: 549-554.
- [16] Wang, K. J. dan T. C. Hou. 2003. Modelling and Resolving the Joint Problem of Capacity Expansion and Allocation with Multiple Resources and Limited Budget in the Semiconductor Testing Industry. *International Journal of Production Research*. 41(14): 3217-3235.
- [17] Silva, C. M. dan E. C. Biscaia. 2003. Genetic Algorithm Development for Multi-objective Optimization of Batch Free-radical Polymerization Reactors. *Computers and Chemical Engineering*. 27: 1329-1344.
- [18] Jang, J. R., C. T. Sun, dan E. Mizutani. 1997. *Neuro Fuzzy and Soft Computing*. New York: Prentice Hall, Inc.
- [19] Institut Penyelidikan Minyak Kelapa Sawit Malaysia. 1985. *Palm Oil Factory Process Handbook*. Kuala Lumpur: Institut Penyelidikan Kelapa Sawit Malaysia.
- [20] Naibaho, P. M. 1998. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan.
- [21] Cohon, J. L. 1978. *Multiobjective Programming and Planning*. New York: Academic Press.
- [22] Goldberg, D. E. 1989. *Genetics Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Massachusetts: Addison Wesley Publ. Co., Inc.
- [23] Gen, M. dan R. Cheng. 1997. *Genetic Algorithms and Engineering Design*. New York: John Wiley and Sons.



APENDIKS A

Model Pengoptimuman Pengeluaran Minyak Sawit dan Isirong Sawit

Fungsi-fungsi objektif :

$$1. \quad \text{Maks: } Z_1 = \text{pendapatan} \\ = \sum_t \text{pcpo} Q_t^{\text{CPO}} + \sum_t \text{pkl} Q_t^{\text{KL}} \quad (5)$$

$$2. \quad \text{Min: } Z_2 = \text{jumlah kos pengeluaran} \\ = \sum_t \text{ctbs} TBS_t^{\text{o}} + \sum_t \text{ttbs} TBS_t^{\text{in}} + \sum_t \text{cem} TBS_t^{\text{o}} + \sum_t \text{cal} TBS_t^{\text{o}} + \\ \sum_t \text{cmh} MH_t + \sum_t \text{cel} AMP_t + \sum_t \text{cair} AIR_t + \sum_t \text{cmtn} TBS_t^{\text{o}} + \\ \sum_t \text{cinv1} I^{\text{CPO}}_t + \sum_t \text{cinv2} I^{\text{KL}}_t + \sum_t \text{cins} t + \sum_t \text{cadm} TBS_t^{\text{o}} \quad (6)$$

$$3. \quad \text{Min: } Z_3 = \text{jumlah kehilangan minyak sawit} \\ = \sum_i \sum_j \sum_t OW_{ij} W_{ij,t} \quad (7)$$

$$4. \quad \text{Min: } Z_4 = \text{jumlah kehilangan isirong sawit} \\ = \sum_i \sum_j \sum_t KW_{ij} W_{ij,t} \quad (8)$$

Terhadap fungsi-fungsi kekangan:

1. Bekalan bahan mentah (TBS)

- Imbangan bahan mentah TBS

$$TBS_t^{\text{in}} + TBS_{t-1}^{\text{s}} - TBS_t^{\text{o}} = TBS_t^{\text{s}} \quad (9a)$$

- Jumlah TBS yang diolah dihadkan oleh jumlah TBS yang masuk dan jumlah sisa TBS yang terdapat di tanjakan pembebanan pada hari sebelumnya.

$$TBS_t^{\text{o}} \leq TBS_{t-1}^{\text{s}} + TBS_t^{\text{in}} \quad (9b)$$

2. Kadar perubahan TBS menjadi hasil pengeluaran perantaraan i pada stesen j

$$P_{ij,t} = \beta_{ij} TBS_t^{\text{o}} \quad (10)$$

3. Imbangan bahan pada setiap stesen

$$P_{ij-1,t} - \sum W_{ij,t} = P_{i,j,t} \quad (11a)$$

$$Q_t^{\text{CPO}} = P_{1,5,t} - \sum \sum OW_{ij} W_{ij,t} \quad (11b)$$

$$Q_t^{\text{KL}} = P_{1,6,t} - \sum \sum KW_{ij} W_{ij,t} \quad (11c)$$

4. Imbangan inventori minyak sawit dan isirong sawit

$$I_t^{\text{CPO}} = I_{t-1}^{\text{CPO}} + Q_t^{\text{CPO}} - D_t^{\text{CPO}} \quad (12a)$$

$$I_t^{\text{KL}} = I_{t-1}^{\text{KL}} + Q_t^{\text{KL}} - D_t^{\text{KL}} \quad (12b)$$

5. Kapasiti dan tempoh pengeluaran

$$TBS_t^o \leq CAP^{\text{av}} \quad (13a)$$

$$T_t = TBS_t^o / r_t \quad (13b)$$

$$T_t \leq T^{\text{max}} \quad (13c)$$

6. Kapasiti tangki dan gudang simpanan

$$Q_t^{\text{CPO}} \leq STCPO^{\text{max}} \quad (14a)$$

$$Q_t^{\text{KL}} \leq STKL^{\text{max}} \quad (14b)$$

7. Had maksimum kehilangan minyak sawit dan isirong sawit di dalam sisa buangan

$$OW_{ij} \leq \rho_{ij}^{\text{max}} \quad (\text{had kehilangan minyak sawit}) \quad (15a)$$

$$KW_{ij} \leq kl_{ij}^{\text{max}} \quad (\text{had kehilangan isirong sawit}) \quad (15b)$$

$$KK_6 \leq KK^{\text{max}} \quad (\text{kadar kotoran dalam isirong sawit}) \quad (15c)$$

8. Keperluan stim, elektrik dan air bersih

a. Stim

- Kuantiti penggunaan stim dan kapasiti stim

$$STIM_t \leq STIM_t^{\text{av}} T_t \quad (16a)$$

$$STIM_t = \sum st_j TBS_t^o \quad (16b)$$

- Nilai panas pembakaran daripada tempurung dan hampas harus mencukupi keperluan panas pembakaran dandang untuk mengeluarkan stim.

$$(W_{14t} * \text{cal}^{\text{lb}} + W_{16t} * \text{cal}^{\text{sh}}) \text{eff} \geq STIM_t * \text{cal}^{\text{st}} \quad (16c)$$

b. Elektrik

- Keperluan elektrik dan kapasiti elektrik

$$AMP_t / T_t \leq AMP^{\text{av}} \quad (16d)$$

$$AMP_t = \sum \text{amp}_j TBS_t^o \quad (16e)$$

- Stim yang dikeluarkan dandang harus mencukupi keperluan kuasa elektrik untuk semua stesen.

$$AMP_t * st^{el} \leq STIM^{av} \tag{16f}$$

c. Air

- Penggunaan air dan kapasiti air bersih yang tersedia

$$AIR_t \leq AIR^{av}_t \tag{16g}$$

$$AIR_t = \sum air_j TBS^o_t \tag{16h}$$

9. Keperluan pekerja

$$MH_t \leq MH^{av}_t \tag{17a}$$

$$MH_t = \sum mh_j T_t \tag{17b}$$

10. Had minimum setiap pembolehubah keputusan

$$TBS^o_t, TBS^s_t, I^{CPO}_t, I^{KL}_t, OW_{ij}, KW_{ij} \geq 0 \tag{18}$$

dan OW_{12} , OW_{13} , dan OW_{23} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengukusan dan peleraian. OW_{14} dan KW_{14} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen pengadukan dan penekanan. OW_{15} dan OW_{25} dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen penjernihan. KW_{16} dan KK_6 dijana daripada model sistem pakar kabur pada stesen isirong sawit.

Senarai Simbol

i	jenis hasil pengeluaran, jenis sisa buangan
t	masa (dalam hari)
j	tahap pemprosesan atau stesen ke j
TBS_t^o	kuantiti TBS yang diolah pada masa t
TBS_t^s	kuantiti sisa TBS yang terdapat di tanjakan pembebanan pada masa t
Q_t^{CPO}	kuantiti minyak sawit yang dikeluarkan pada masa t
Q_t^{KL}	kuantiti isirong sawit yang dikeluarkan pada masa t
I_t^{CPO}	inventori minyak sawit pada masa t
I_t^{KL}	inventori isirong sawit pada masa t
MH_t	kuantiti orang-jam yang diperlukan pada masa t
T_t	tempoh pengeluaran pada masa t
OW_{ij}	peratus kehilangan minyak sawit di dalam sisa buangan i pada stesen j
$W_{ij,t}$	jumlah sisa buangan i pada stesen j pada masa t
KW_{ij}	peratus kehilangan isirong sawit di dalam sisa buangan i di stesen j
AIR_t	jumlah penggunaan air pada masa t
$STIM_t$	jumlah stim yang diperlukan pada masa t
AMP_t	jumlah penggunaan kuasa elektrik pada masa t
P_{ijt}	hasil pengeluaran perantara i yang dikeluarkan dari stesen j pada masa t
TBS_t^{in}	kuantiti TBS yang masuk ke kilang pada masa t
$pcpo$	harga jualan per kg CPO
pkI	harga jualan per kg isirong sawit
$ctbs$	harga pembelian per kg TBS
$ttbs$	kos pengangkutan dari ladang ke kilang per kg TBS
cem	kos bahan kimia per kg TBS
cal	kos alat-alat pengolahan per kg TBS
cmh	kos pekerja per orang-jam
cel	kos elektrik per kwh elektrik

cair	kos pengolahan air per m ³ air
cmtn	kos penyenggaraan per kg TBS
cinv1	kos inventori minyak sawit per kg CPO
cinv2	kos inventori isirong sawit per kg isirong sawit
cins	kos insurans per hari
cadm	kos pentadbiran per kg TBS
MH ^{av}	orang-jam tersedia pada masa t
mh _j	keperluan orang-jam pada stesen j
r _t	kadar pengeluaran pada masa t
T ^{max}	tempoh pengeluaran maksimum pada masa t
β _{ij}	jumlah TBS yang diperlukan untuk mengeluarkan 1 kg hasil pengeluaran perantaraan i pada stesen j
ρ _{ij} ^{max}	had maksimum kehilangan minyak sawit dalam sisa buangan i pada stesen j
kl _j ^{max}	had maksimum kehilangan isirong sawit dalam sisa buangan i pada stesen j
STCPO ^{max}	kapasiti maksimum tangki simpanan CPO
STKL ^{max}	kapasiti maksimum gudang simpanan isirong sawit
STIM ^{av}	kapasiti stim yang tersedia yang dihasilkan oleh dandang
st _j	keperluan stim per kg TBS pada stesen j
cal ^{fb}	nilai kalori pembakaran per kg hampas
cal ^{sh}	nilai kalori pembakaran per kg tempurung
cal st	nilai kalori pembakaran per kg stim
eff	kecekapan dandang
amp _j	keperluan kuasa elektrik per kg TBS pada stesen j
AMP ^{av}	kapasiti kuasa elektrik yang tersedia
AIR ^{av}	kapasiti air bersih yang tersedia
air _j	keperluan air per kg TBS pada stesen j

