

Optimasi Kondisi Kolom Distilasi Biner untuk Mencapai Kualitas Produk dengan Menggunakan *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA)

Nur Fitriyani, Totok Ruki Biyanto. Ph.D

Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: trb@ep.its.ac.id

Abstrak—Kualitas Produk dalam proses kimia harus dikontrol dan dioptimasi untuk mencapai kualitas terbaik sesuai dengan permintaan pasar industri. Salah satu kriteria kualitas produk adalah fraksi mol komponen. Kualitas produk pada proses kolom distilasi yang dijalankan dengan menggunakan teknik optimasi tidaklah mudah karena kolom distilasi bersifat non-linier. Kolom distilasi termasuk kedalam kelas NLP yang dapat dipecahkan dengan menggunakan metode stokastik untuk mencapai solusi global. Salah satu metode stokastik adalah *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA). ICA memiliki beberapa kelebihan yang dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks, dapat mencapai nilai konvergen yang lebih cepat dibandingkan dengan algoritma yang lain. Dalam penelitian ini, kolom distilasi biner dibangun dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan multi-layer perceptron (MLP) dengan struktur Non-linier Auto Regressive with eXternal input (NARX) dan algoritma pembelajaran Lavenberg Maquardt. Penelitian ini fokus pada optimasi kualitas produk dengan merubah kondisi operasional kolom yaitu laju aliran umpan, komposisi umpan (1-propanol dan ethanol), laju aliran refluks dan panas reboiler. Output dari optimasi memberikan kuantitas dan kualitas produk tebaik.

Kata Kunci—Kolom Distilasi Biner, Jaringan Syaraf Tiruan, *Imperialist Competitive Algorithm*.

I. PENDAHULUAN

MENINGKATNYA permintaan enargi dan adanya dampak negatif dari bahan bakar fosil terhadap lingkungan menuntut adanya pencarian sumber energy alternatif yang dapat diperbaharui salah satunya menggunakan alcohol sebagai biofuels seperti ethanol dan propanol (Pla-Franco, 2015). Parameter *biofuels* yang baik dapat dilihat dari tingkat kemurnian komposisi produk. Untuk mendapatkan kemurnian komposisi produk diperlukan proses pemisahan komponen salah satunya dengan proses distilasi.

Distilasi merupakan proses pemisahan dan pemurnian fraksi campuran yang berbeda titik didihnya. Proses distilasi meliputi penguapan cairan dengan cara pemanasan dilanjutkan dengan kondensasi uap menjadi cairan yang disebut sebagai *distillate*. Dalam prakteknya pemilihan prosedur distilasi bergantung pada sifat cairan yang akan

dimurnikan dan sifat pengotor yang terkandung didalamnya. Ethanol dapat diperoleh dengan berbagai cara yaitu hidrasi etilen, fermentasi glukosa dan hasil samping kegiatan industri (*side stream*). Proses dehidrasi ethanol tidak dapat dilakukan dengan mudah karena ethanol dan air adalah azeotrop yang tidak dapat dilakukan pada kolom distilasi biasa sehingga memerlukan teknik lain seperti distilasi ekstraktif. Distilasi ekstraktif merupakan distilasi dengan penambahan entrainer yang digunakan untuk memecah azeotrop dan memudahkan proses pemisahan (Pla-Franco dkk., 2015).

Distilasi banyak dipakai luas dalam industri petrokimia, *refinery*, industri farmasi dan industri makanan. Pada tahun 1995, Humprey, mengestimasi sekitar 90% distilasi ditangani oleh teknik pemisahan dan pemurnian (Hosgor, dkk., 2014). Prinsip dari teknik distilasi adalah pemisahan berdasarkan perbedaan titik didih untuk mendapatkan komposisi destilat dan produk bawah yang sesuai (Luyben, 1997). Komposisi produk yang sesuai dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya besarnya *input* panas pada *reboiler*, rasio *reflux* pada bagian atas kolom, komposisi dan laju aliran umpan (*feed flow rate*).

Proses distilasi memerlukan konsumsi energi yang tinggi, yaitu sekitar 50% dari biaya operasional proses sehingga diperlukan beberapa teknik penghematan konsumsi energi diantaranya adalah teknik injeksi uap *superheated* (Samborskaya, 2014), teknik integrasi panas (Shahandeh, 2015), teknik pengendalian *thermal* atau adiabatis kolom distilasi (Schaller, 2001), dan metode penentuan konfigurasi kolom distilasi untuk minimumkan energi pada kolom tunggal (Lucia & McCallum, 2010).

Cara lain dalam menentukan penghematan energi adalah dengan melakukan teknik optimisasi. Teknik optimisasi merupakan sebuah tendensi dalam menentukan solusi terbaik dalam batasan-batasan (*constraints*) yang telah ditentukan. (Caballero & Grossmann, 2014) dalam papernya mengoptimisasi kolom distilasi meliputi pemilihan nomor tray, penempatan lokasi umpan, dan kondisi operasi dalam meminimalisir *TAC* (*Total Annual Cost*) atau total biaya tahunan termasuk biaya modal dan biaya operasional. Tantangan utama dalam mendesain kolom distilasi adalah

menentukan dimensi yang tepat pada kolom seperti diameter, ketinggian dan kondisi operasionalnya sehingga komposisi produk dapat dicapai dengan biaya modal dan biaya operasional yang minimal (Sorensen, 2014a). Penelitian lain mengenai optimisasi dilakukan untuk mencari kondisi operasi pada *reflux* rasio dan panas *reboiler* dengan tujuan untuk mendapatkan energi minimum (Biyanto dkk., 2015). Komposisi dan kebutuhan energi pada kolom distilasi juga dipengaruhi oleh tekanan pada top kolom distilasi sehingga hal ini juga perlu dipertimbangkan untuk dilakukan optimisasi (Sorensen, 2014b).

Optimasi pada kolom distilasi adalah non-linier yang mungkin mempunyai beberapa lokal optimum sehingga optimasi kolom distilasi digolongkan kedalam kelas NLP (*Non-Linear Programming*) (Sorensen, 2014b). Metode NLP sangatlah kompleks sehingga memerlukan beberapa penyederhanaan (Ramanathan dkk., 2001). NLP dapat dipecahkan dengan dua cara, yaitu dengan pendekatan algoritma deterministik dan stokastik. Algoritma deterministik menghasilkan solusi optimal dan memerlukan pemahaman proses dengan mengasumsikan konveksitas untuk mencapai konvergen dan solusi global optimum, ketika diaplikasikan ke dalam permasalahan non-konveks algoritma ini kemungkinan tidak dapat mencapai global optimum. Sedangkan Algoritma stokastik didasarkan pada metode adaptif pencarian acak, metode tersebut tidak memerlukan langkah identifikasi struktur masalah dan mampu mengeliminasi sumber non-konveks sehingga dapat mencapai konvergen dan menjamin global optimum, selain itu algoritma stokastik memiliki kemampuan perhitungan yang intensif dalam menemukan pencarian acak dengan jangkauan yang luas pada aplikasi teknik dan kecepatan teknologi perhitungan modern (Ramanathan dkk., 2001), oleh karena itu algoritma stokastik digunakan sebagai pilihan terbaik untuk menyelesaikan masalah non-konveks dan dapat mengoptimasi problem yang kompleks (Schwefel, 1993).

Pada sebagian besar metode algoritma stokastik seperti GA (*Genetic Algorithm*), TS (*Tabu Search*) merupakan tipe yang lambat dalam menentukan solusi optimal sedangkan pada beberapa metode stokastik baru seperti PSO (*Particle Swarm Optimization*), ACO (*Ant Colony Optimization*) dan ICA (*Imperialist Competitive Algorithm*), memiliki beberapa keunggulan diantaranya dapat menyelesaikan permasalahan yang sulit dan kompleks, tidak hanya memberikan respon yang lebih baik tetapi juga lebih cepat mencapai konvergen dibandingkan algoritma evolusi biasa (Niknam dkk., 2011). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ramanathan, optimasi pada kolom distilasi kontinu dengan menggunakan dua pendekatan stokastik yaitu GA dan SPSA (*Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation*) dihasilkan bahwa kedua metode tersebut dapat meminimalisir biaya total distilasi. Pada penelitian lain, algoritma ICA diterapkan pada *design heat exchanger* didapatkan nilai penurunan yang lebih rendah dibandingkan GA. Hasil penelitian tersebut

menunjukkan nilai penurunan ICA yang lebih besar daripada GA.

ICA diusulkan oleh Azharpaz Gargary dan Lucas pada tahun 2007. ICA adalah teknik yang menjanjikan dalam menyelesaikan masalah NLP. Solusi NLP menggunakan ICA pada penelitian sebelumnya terbukti menjadi pendekatan yang valid untuk masalah non-konveks dimana waktu komputasi selalu minimal sehingga *run-time* nya jauh lebih efisien (Biyanto, dkk., 2015). ICA merupakan salah satu metode evolusi algoritma terkuat yang telah digunakan secara *ekstensive* dalam menyelesaikan permasalahan optimisasi yang berbeda (Azharpaz-Gargary & Lucas, 2007). Metode ini didasarkan pada proses *socio-politic* yang dimotivasi oleh strategi pencarian global berupa kompetisi antar imperialist. ICA dimulai dengan menginisialisasi populasi. Pada metode algoritma ini, tiap-tiap individu dari populasi disebut *country*, beberapa *best country* dalam populasi dipilih sebagai pusat imperialist dan *country* yang lain membentuk *colony* dalam imperial tersebut. Setelah membagi *colony* selanjutnya membentuk inisialisasi *empire* dan *colony* bergerak menuju ke imperial *country* yang relevan. Pergerakan *colony* ke *empire* ini membentuk kompetisi dan juga mekanisme *collapse* sehingga beberapa *country* menjadi konvergen dan hanya satu *empire* terpilih. Proses inilah yang menjadikan ICA sebagai teknik terkuat meskipun teknik ini dapat menyebabkan local optima khususnya ketika jumlah imperial ditambahkan (Azharpaz-Gargary & Lucas, 2007). ICA telah diaplikasikan dalam menentukan batas tepi *image* (Zaynab dkk., 2014), penyelesaian perjalanan *salesman* (Xu, Wang & Huang, 2014), memprediksi formasi *hydrate temperature* (Hadi, dkk., 2014), mendesain optimal controller (Abdechiri, 2008) dan juga dalam mengoptimisasi desain *green hybrid power system* (Gharavi, dkk., 2015).

Pada penelitian ini *Imperial Competitive Algorithm* (ICA) digunakan untuk mengoptimasi kondisi operasi dengan merubah laju aliran *reflux*, laju aliran *feed*, *steam* pada *reboiler* dan komposisi umpan sehingga didapatkan kuantitas jumlah ethanol dan kualitas kadar ethanol yang sesuai serta penghematan energi dan diharapkan kolom distilasi dapat dioperasikan lebih efisien, baik dari segi kualitas produk maupun pemakaian energinya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh laju aliran umpan (*molar flow feed*), komposisi umpan (*mole fraction of feed*), laju aliran *reflux* (*molar flow reflux*) dan panas pada *reboiler* (*heat duty of reboiler*) terhadap komposisi kemurnian produk?
- Bagaimana hasil kuantitas dan kualitas produk yang optimal dan penghematan energi yang sesuai dengan menggunakan *imperialist competitive algorithm* (ICA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk

- Menganalisis pengaruh laju aliran umpan (*molar flow feed*), komposisi umpan (*mole fraction of feed*), laju aliran reflux (*molar flow reflux*) dan panas pada reboiler (*heat duty of reboiler*) terhadap komposisi kemurnian produk.
- Merancang optimasi sistem pada kolom distilasi biner *ethanol-1 propanol* agar diperoleh kualitas dan kuantitas produk yang sesuai dan hemat energi dengan menggunakan ICA (*imperialist competitive algorithm*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah dapat mengembangkan ilmu dalam aplikasi study optimasi menggunakan ICA (*imperial competitive algorithm*) sehingga diperoleh komposisi produk yang sesuai dan hemat energi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Study Literature

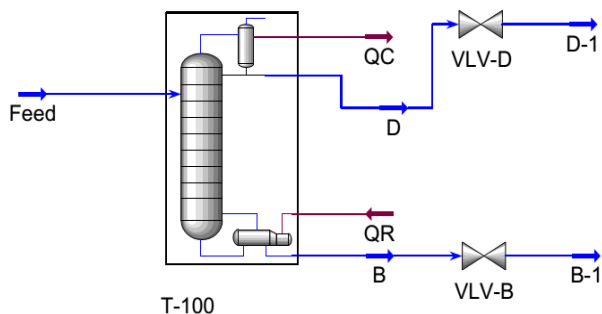
Tahap ini dilakukan pengumpulan informasi terkait mengenai penelitian berupa *study literature*, pengumpulan data proses yang meliputi *Process flow Diagram* (PFD), *Piping & Instrumentation Diagram* (P&ID) dari data *real plant*.

B. Problem Function

Tahap pertama yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi data plant. Hasil dari identifikasi ini bermanfaat untuk mengembangkan rancangan proses sehingga dapat dilakukan permodelan dan analisis.

Tahap kedua yaitu permodelan kolom distilasi. *Plant* yang digunakan dalam penelitian yaitu kolom distilasi biner ethanol-propanol dengan menggunakan struktur pengendalian LV.

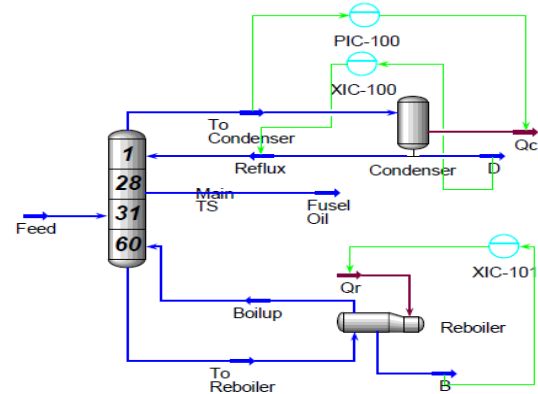
Gambar 1 merupakan gambar model sistem kolom distilasi biner. Permodelan *design* proses dilakukan dengan menggunakan aplikasi software aspen HYSYS 7.0 dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi *steady state*. Setelah



Gambar. 1. Permodelan Kolom Distilasi Biner

diperoleh keadaan proses yang *steady* maka tahap selanjutnya dilakukan validasi, apabila hasil sesuai dengan data *process flow diagram* (PFD) maka dapat diambil langkah selanjutnya.

Proses distilasi dilakukan berdasarkan perbedaan titik didih campuran sehingga analisa proses distilasi meliputi hukum kesetimbangan massa, komponen dan energi (*mass and energy balance*). Dari segi komposisi proses distilasi direncanakan pada proses pemisahan ethanol-propanol, serta penentuan optimalisasi kondisi operasi ditentukan pada proses yang membutuhkan energi terbesar yaitu pada laju aliran *reflux*, laju aliran panas pada *reboiler* selain itu besarnya kadar kemurnian produk dapat dikontrol oleh laju aliran reflux dan panas reboiler. Penetapan parameter meliputi penetapan variabel yang berpengaruh dalam proses optimasi sehingga kemurnian produk dapat dicapai. Gambar 2. berikut ini merupakan gambar permodelan proses beserta kontrollernya.



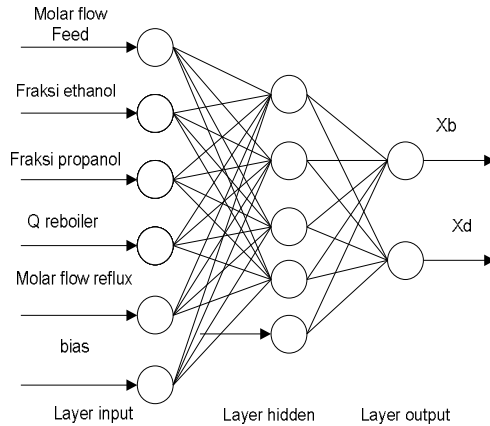
Gambar. 2. Process Flow Diagram

C. Perancangan Jaringan Syaraf Tiruan

Algoritma identifikasi untuk memodelkan *plant* sistem dijalankan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan, hal ini karena sistem pada JST menyerupai sistem pada kolom distilasi biner dimana terdiri dari input dan output. Proses identifikasi ini perlu dilakukan untuk menentukan variable mana yang dijadikan input dan variable mana yang diadik output. Variabel input dan output ini umumnya ditentukan dari perannya dalam suatu proses. Variable input adalah variable yang dimanipulasi dan variable output adalah variable yang diinginkan (set point). Dalam jaringan syaraf tiruan terdapat arsitektur algoritma yang terdiri dari 3 bagian yaitu input layer, hidden layer dan output layer seperti yang terlampir pada Gambar 3. Dalam jaringan syaraf tiruan digunakan input sebanyak 5, hidden layer sebanyak 20 dan output layer sebanyak 2. Input pada JST berupa komposisi *feed*, laju aliran *feed*, laju aliran *reflux*, dan panas pada reboiler serta condenser, sedangkan output JST berupa fraksi mol distilat dan *bottom* produk.

Tabel 1.
Parameter Input-Output ST

Input	Output
Molar Flow Distillate	Fraksi Mol Distilte
Fraksi Mol Ethanol	Fraksi Mol Bottom
Fraksi Mol 1-Propanol	
Panas Reboiler	
Molar Flow Rweflux	



Gambar. 3. Arsitektur JST

D. Optimasi dengan ICA

Optimasi ICA dilakukan dengan menentukan fungsi objektif, constrain, dan design variable. Optimasi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2010a, setelah parameter tersebut ditetapkan. Dan fungsi objektif nya terdapat pada persamaan 1

$$J = \max(X_d^* - X_d) + (X_b^* - X_b) \quad (1)$$

Ket:

J : Fungsi objektif

X_d^* : Fraksi mol distilat sesudah (prediksi)

X_d : Fraksi mol distilat sebelum (target)

X_b^* : Fraksi mol bottom produk sesudah (prediksi)

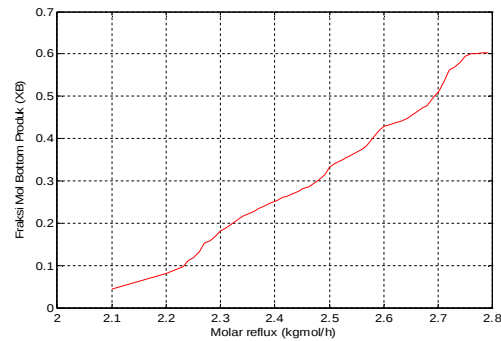
X_b : Fraksi mol bottom produk sebelum (target)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa pengaruh reflux dan panas reboiler terhadap komposisi top dan bottom produk.

Dari hasil permodelan hysys, didapatkan hasil analisa pengaruh besarnya perubahan fraksi mol distilat dan bottom produk yang sebanding dengan besarnya peningkatan laju aliran reflux dan panas reboiler. Hal ini dikarenakan besarnya komposisi pada distilat dan bottom produk dikendalikan oleh laju aliran reflux dan panas reboiler, apabila laju aliran *reflux* terlalu besar, maka akan mengakibatkan hilangnya efek

pemisahan zat. Hal ini terjadi apabila laju aliran *reflux* terlampau tinggi sedangkan aliran dari *steam reboiler* tetap karena *steam reboiler* merupakan komponen penting dalam perubahan fasa fluida dari cair menjadi gas. Jika pasokan panas lebih sedikit daripada fluida yang harus dipanaskan maka fluida yang berubah fasa menjadi uap juga akan sedikit. Hal ini berpengaruh pada komposisi *top product* yang juga berkurang.

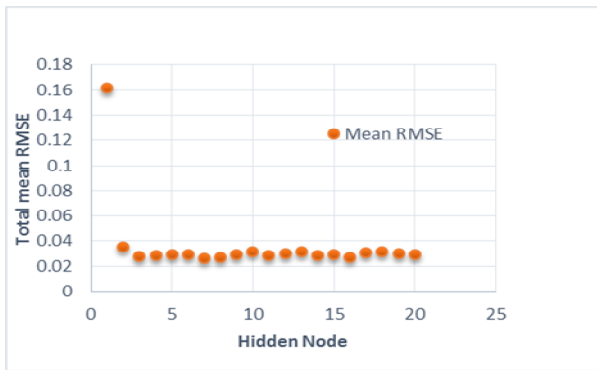


Gambar. 3. Pengaruh reflux terhadap XB

B. Perancangan Jaringan Syaraf Tiruan

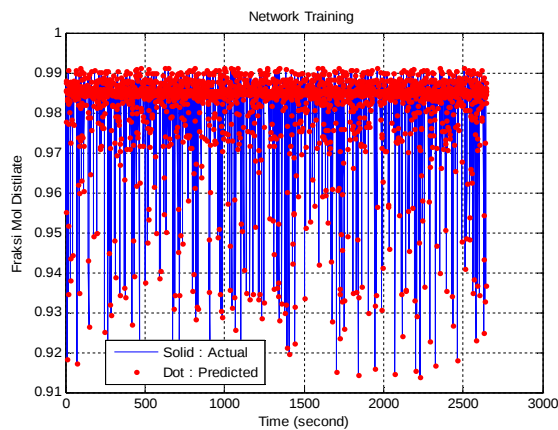
Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk memodelkan sistem, hal ini karena struktur pada JST menyerupai struktur mimo proses (*multivariable input multivariable output*) proses dari sistem kolom distilasi biner. JST ini digunakan untuk memodelkan input dan output dari proses, dimana inputannya berupa molar flow feed, mole fraction feed dari ethanol dan 1-propanol, panas kerja reboiler dan molar flow reflux dan outputannya berupa fraksi mol distilat dan fraksi mol bottom produk

JST menggunakan 80% data training dan 20% data validasi untuk mendapatkan nilai RMSE terbaik dan koefisien koelasi terbaik. Model kolom distilasi biner dijalankan dengan menggunakan algoritma pembelajaran Lavenberg Maquardt dengan struktur NARX. Hasil JST dengan 3 hidden node sampai 20 hidden node dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa JST memiliki root man suare error (RMSE) terkecil pada hidden node ke 7 yaitu sebesar 0, 026288. Dari penentuan parameter tersebut maka JST dibuat dengan 20 hidden node dengan 5 masukan dan 2 keluaran JST.



Gambar. 4. HN terhadap mean RMSE Fraksi mol distilat

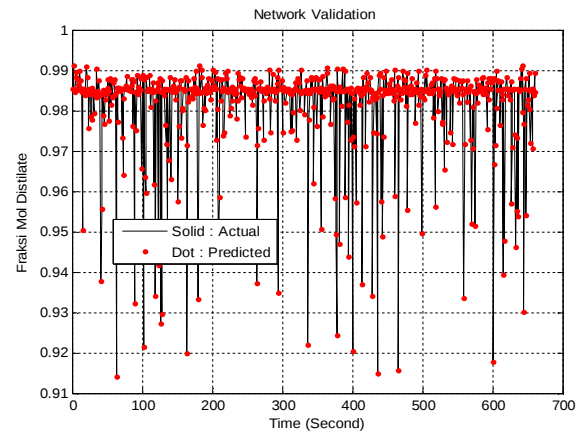
Hasil RMSE didapatkan nilai sebesar 0,0044 untuk fraksi mol distilat, dan 0,0751 untuk fraksi mol bottom produk. Nilai RMSE ini digunakan untuk mengetahui persentase selisih antara nilai prediksi keluaran dengan nilai set point yang diinginkan. Dari hasil RMSE, JST mampu memberikan hasil yang baik pada permodelan kolom distilasi biner dan mampu handle kompleksitas dan non-linieritas dari system. Hasil pelatihan dan validasi kolom distilasi biner dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar. 5. Proses training fraksi mol distilat

Tabel 2.
Parameter Algoritma ICA

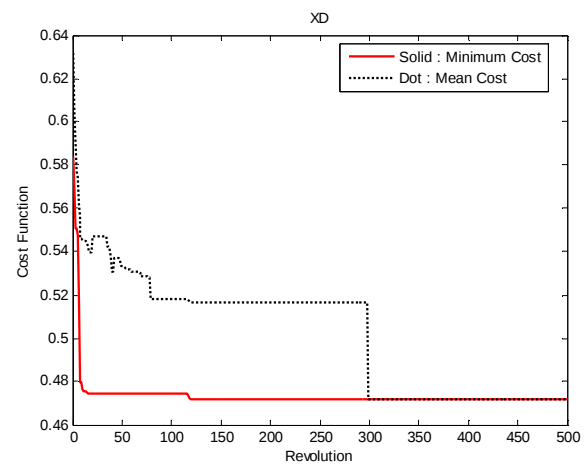
Parameter ICA	Nilai
Jumlah Country	200
Jumlah Imperialist	8
Laju Revolusi	0.3
Decade	500
Koefisien Asimilasi	2
Assimilation Angle Coeff	0.5
Zeta	0,02



Gambar. 6. Proses validasi fraksi mol distilat.

C. Optimasi dengan menggunakan ICA

Imperialist Competitive Algorithm digunakan untuk mengoptimasi kolom distilasi biner yang sebelumnya telah dimodelkan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST). Proses optimasi dilakukan dengan menggunakan 192 jumlah koloni, 8 jumlah imperialist dan 500 decade. Tabel 2 merupakan parameter yang digunakan pada algoritma ICA. Menurut Atazpaz (2007) penggunaan jumlah koloni yang banyak dapat menyebabkan tidak efisien karena dapat terjadi global optimum, proses iterasi yang panjang dan hasil menjadi konvek, menurutnya jumlah iterasi yang sesuai sebesar 10 % dari jumlah country. Proses optimasi dijalankan untuk memaksimalkan kualitas produk, yang mana output dari ICA berupa fraksi mol distilat dan fraksi mol bottom produk. Proses revolusi dan eliminasi antar empire pada algoritma ICA menyebabkan tersisa satu imperialist yang terkuat sebagai hasil optimum dari fungsi objective.



Gambar. 7. Proses iterasi ICA dengan 500 revolution atau decade

IV. KESIMPULAN

Pada permodelan kolom distilasi biner dengan Aspen HYSYS diperoleh besarnya laju aliran reflux dan steam reboiler yang semakin meningkat sebanding dengan besarnya komposisi kemurnian top produk dan bottom produk yang bertambah. Optimasi kolom distilasi biner dimodelkan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan dan dijalankan dengan menggunakan metode ICA dengan jumlah country sebesar 200, jumlah imperialis 8, dan jumlah revolusi sebanyak 500 decade, didapatkan hasil yang dapat mencapai global optimum. ICA dijalankan untuk mendapatkan nilai optimal dari kualitas produk pada proses kolom distilasi biner, dan didapatkan kondisi operasi optimal pada kolom distilasi biner sebesar 0.932 untuk mol fraksi distilat dan 0.9932 untuk mol fraksi bottom produk

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007). Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007*, 4661–4667. <http://doi.org/10.1109/CEC.2007.4425083>
- [2] Biyanto, T. R., Khairansyah, M. D., Bayuaji, R., Firmanto, H., & Haksoro, T. (2015). Imperialist Competitive Algorithm (ICA) for Heat Exchanger Network (HEN) Cleaning Schedule Optimization. *Procedia Computer Science*, 72, 5–12. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.099>
- [3] Biyanto, T. R., Suganda, S. W., Matraji, Susatio, Y., Justiono, H., & Sarwono. (2015). Cleaning Schedule Optimization of Heat Exchanger Networks Using Particle Swarm Optimization, (August), 8. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1512.0883>
- [4] Caballero, J. A., & Grossmann, I. E. (2014). Optimal synthesis of thermally coupled distillation sequences using a novel MILP approach, *61*, 118–135.
- [5] Demuth, H. (2002). Neural Network Toolbox. *Networks*, 24(1), 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.neunet.2005.10.002>
- [6] Fausett, L. (2015). Fundamentals of Neural Networks. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [7] Gharavi, H., Ardehali, M. M., & Ghanbari-tichi, S. (2015). Imperial competitive algorithm optimization of fuzzy multi-objective design of a hybrid green power system with considerations for economics , reliability , and environmental emissions, *78*.
- [8] Hadi, S., Heydari, H., Ahmadpour, E., & Gholami, A. (2014). Journal of Natural Gas Science and Engineering Development of novel correlation for prediction of hydrate formation temperature based on intelligent optimization algorithms, *18*, 377–384.
- [9] Hosgor, E., Kucuk, T., Oksal, I. N., & Kaymak, D. B. (2014). Design and control of distillation processes for methanol – chloroform separation. *Computers and Chemical Engineering*, 67, 166–177. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.03.026>
- [10] Lucia, A., & McCallum, B. R. (2010). Energy targeting and minimum energy distillation column sequences. *Computers and Chemical Engineering*, 34(6), 931–942. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.10.006>
- [11] Luyben, W. L. L. (1997). *Essentials of Process Control*. Mc Graw Hill.
- [12] Makarynsky, O. (2004). Improving wave predictions with artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 31(5-6), 709–724. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2003.05.003>
- [13] Niknam, T., Fard, E. T., Ehrampoosh, S., & Rousta, A. (2011). A new hybrid imperialist competitive algorithm on data clustering, *36*(June), 293–315.
- [14] Pla-Franco, J., Lladosa, E., Loras, S., & Montón, J. B. (2015). Approach to the 1-propanol dehydration using an extractive distillation process with ethylene glycol. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 91, 121–129. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2015.03.007>
- [15] Popova, S., Iliev, S., & Trifonov, M. (2011). Neural Network Prediction of the Electricity Consumption of Trolleybus and Tram Transport in Sofia City. *Energy, Environment and Development*, 116–120.
- [16] Ramanathan, S. P., Mukherjee, S., Dahule, R. K., Ghosh, S., Rahman, I., Tambe, S. S., ... Kulkarni, B. D. (2001). Optimization of continuous distillation columns using stochastic optimization approaches. *Chemical Engineering Research and Design*, 79(3), 310–322. <http://doi.org/10.1205/026387601750281671>
- [17] Samborskaya, M. A., Gusev, V. P., Gryaznova, I. A., Vdovushkina, N. S., & Volf, A. V. (2014). Crude Oil Distillation with Superheated Water Steam: Parametrical Sensitivity and Optimization. *Procedia Chemistry*, 10, 337–342. <http://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.057>
- [18] Schaller, M., Hoffmann, K. H., Siragusa, G., Salamon, P., & Andresen, B. (2001). Numerically optimized performance of diabatic distillation columns. *Computers and Chemical Engineering*, 25(11-12), 1537–1548. [http://doi.org/10.1016/S0098-1354\(01\)00717-7](http://doi.org/10.1016/S0098-1354(01)00717-7)
- [19] Shahandeh, H., Jafari, M., Kasiri, N., & Ivakpour, J. (2015). Economic optimization of heat pump-assisted distillation columns in methanol-water separation. *Energy*, 80, 496–508. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.006>
- [20] Sorensen, E. (2014a). *Chapter 5 - Design and Operation of Batch Distillation. Distillation*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386547-2.00005-3>
- [21] Sorensen, E. (2014b). *Principles of Binary Distillation. Distillation: Fundamentals and Principles*. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-386547-2.00004-1>
- [22] Xu, S., Wang, Y., & Huang, A. (2014). Application of Imperialist Competitive Algorithm on Solving the Traveling Salesman Problem. *Algorithms*, 7(2), 229–242. <http://doi.org/10.3390/a7020229>
- [23] Zaynab bozorgy, Mehdi Sadeghzade, S. avad M. (2014). Imperialist Competitive Algorithm for Improving Edge Detection. *Science, Computer Engineering, Software*, 4(3), 227–230.