

Identifikasi *Plant* Purwarupa *Heat Exhcanger* Tipe *Shell* dan *Tube* Model *Counter Flow* Memanfaatkan *Software Matlab*

Hairil Budiarto¹, Faikul Umam²

^{1,2}Program Studi Teknik Mekatronika, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

E-mail: irelunud@gmail.com

Abstrak--alat penukar panas adalah *heat exchanger*, adalah alat yang berfungsi sebagai transfer energi panas antara dua fluida atau lebih, Terdapat berbagai cara untuk meningkatkan efektifitas alat penukar kalor, menurut ilmu teknik mesin yaitu dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi, meningkatkan luas permukaan alat penukar panas dan memperbesar perbedaan suhu guna mencapai suhu yang ditentukan. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai transfer energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur, transfer energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama untuk terjadinya perpindahan sistem tersebut. Perancangan purawarupa *heat exchanger cooler* model *counter flow* telah dibuat dan dengan memanfaatkan *software MATLAB*, maka telah didapatkan model matematis *plant* orde 2, untuk menguji respon *plant* menggunakan *simulink* pada *MATLAB*, sehingga respon *plant* pada *setpoint* yang ditentukan masih berada diatas, sehingga masih dibutuhkan metode kontrol guna memperbaiki kinerja atau respon *plant*.

Kata kunci: *Heat exchanger, counter flow, shell and tube cooler, MATLAB*

Abstract--a *heat exchanger* is a device that acts as a transfer of heat energy between two fluids or more. There are various ways to improve the effectiveness of heat exchange devices, according to mechanical engineering, by increasing the convection heat transfer coefficient, increasing the surface area of the heat exchanger and increase the temperature difference to reach the specified temperature. The heat transfer can be defined as the transfer of energy from one system to another as a result of the temperature difference, this energy transfer always occurs from a high temperature system to another lower temperature system and will stop after the two systems reach the same temperature, the temperature difference is the main requirement for the transfer of the system. The design of prototype *heat exchanger cooler* model *counter flow* has been made and by utilizing *MATLAB* software, we have obtained mathematical model of *plant* order 2, to test the response of *plant* using *simulink* in *MATLAB*, so that the response of the *plant* at *setpoint* is still above, improve the performance or response of the *plant*.

Keywords: *Heat exchanger, counter flow, shell and tube cooler, MATLAB*

1. PENDAHULUAN

Alat penukar panas atau yang biasa disebut *heat exchanger* adalah alat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua fluida atau lebih. *Heat exchanger* dapat berfungsi pula sebagai pembuang panas, yang dalam perencanaannya dibutuhkan pengetahuan tentang ilmu perpindahan kalor agar dapat dilakukan rekayasa terhadap alat penukar kalor atau panas yang mempunyai efektifitas yang tinggi dan dengan dimensi yang kecil sehingga dapat menghemat energi dan biaya produksi.

Peralatan perpindahan panas yang menggunakan fluida ke fluida lainnya adalah pemanas air – pengisi – ketel terbuka (*open feed – water heater*), tetapi yang lebih lazim digunakan adalah penukar panas dimana satu fluida terpisahkan dari fluida lainnya oleh suatu dinding atau sekat yang dilalui oleh panas, penukar panas jenis

rekuperator adalah alat penukar panas yang berbentuk pipa didalam pipa.

Terdapat berbagai cara untuk meningkatkan efektifitas alat penukar kalor, menurut ilmu teknik mesin yaitu dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan kalor konveksi, meningkatkan luas permukaan alat penukar panas dan memperbesar perbedaan suhu guna mencapai suhu yang ditentukan [1].

Cara yang kedua untuk dapat tercapai temperatur yang diinginkan secara cepat adalah menggunakan metode kontrol, dengan *input* suhu fluida, kecepatan *pompashell*, kecepatan kipas pendingin dan diharapkan *output* adalah suhu fluida yang diinginkan. Untuk memudahkan dalam perancangan sistem kontrol, maka purwarupa *plant* *Heat Exchanger* harus diketahui model matematisnya sehingga dalam penerapan suatu metode kontrol akan sangat efektif [1].

2. KAJIAN PUSTAKA

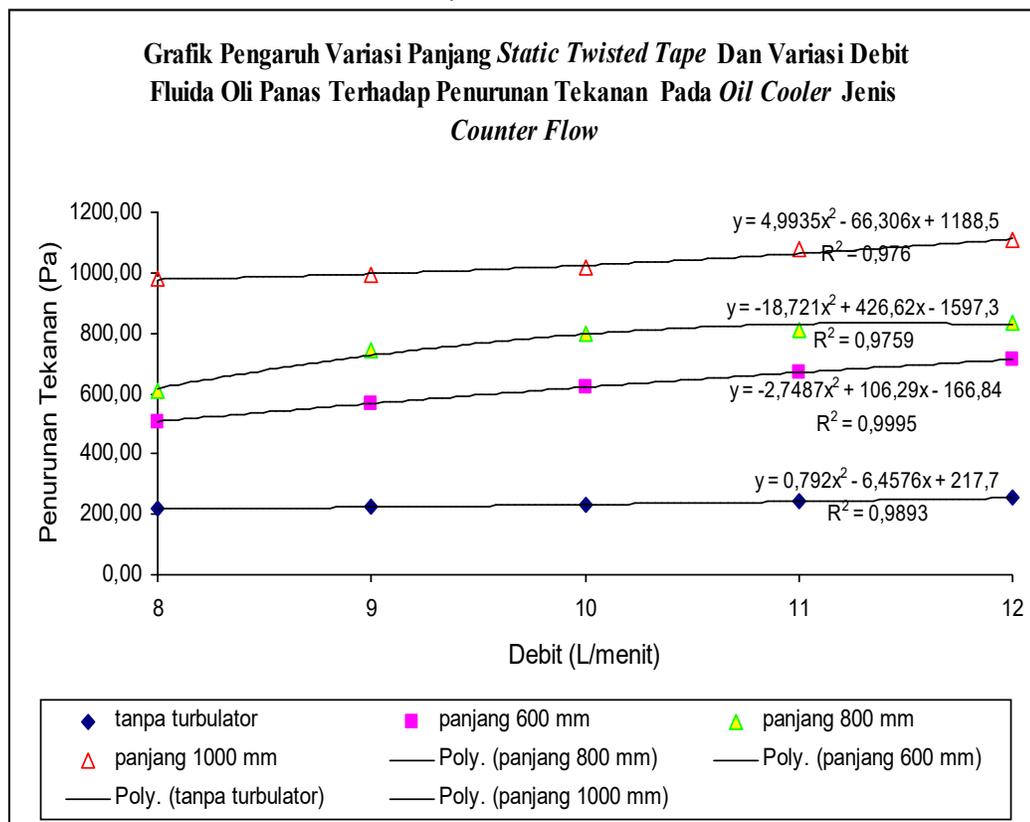
2.1 Penelitian Sebelumnya

Hairil Budiarto [2] dalam penelitiannya mengatakan bahwa variasi panjang *static twisted tape* dan variasi debit fluida oli panas memiliki pengaruh yang nyata terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) pada *oil cooler* jenis *counter flow*, hasil dalam risetnya adalah semakin panjang *static twisted tape* yang dipasang pada *inner tube* alat penukar kalor dan dengan semakin bertambahnya debit aliran fluida panas, pada

masing masing pengujian dengan variasi debit fluida oli panas yang sama akan meningkatkan *pressure drop*, dan efektivitas.

Hubungan antara variasi panjang *static twisted tape* terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) pada pipa dalam (*inner tube*) yang ditimbulkan akibat adanya *static twisted tape* maupun tanpa pemasangan *static twisted tape* pada tiap-tiap variasi debit fluida panas, seperti pada Gambar 1.

Gambar 1. Grafik Hubungan Variasi Panjang Static Twisted Tape dan Variasi Debit Fluida Oli Panas Terhadap Penurunan Tekanan



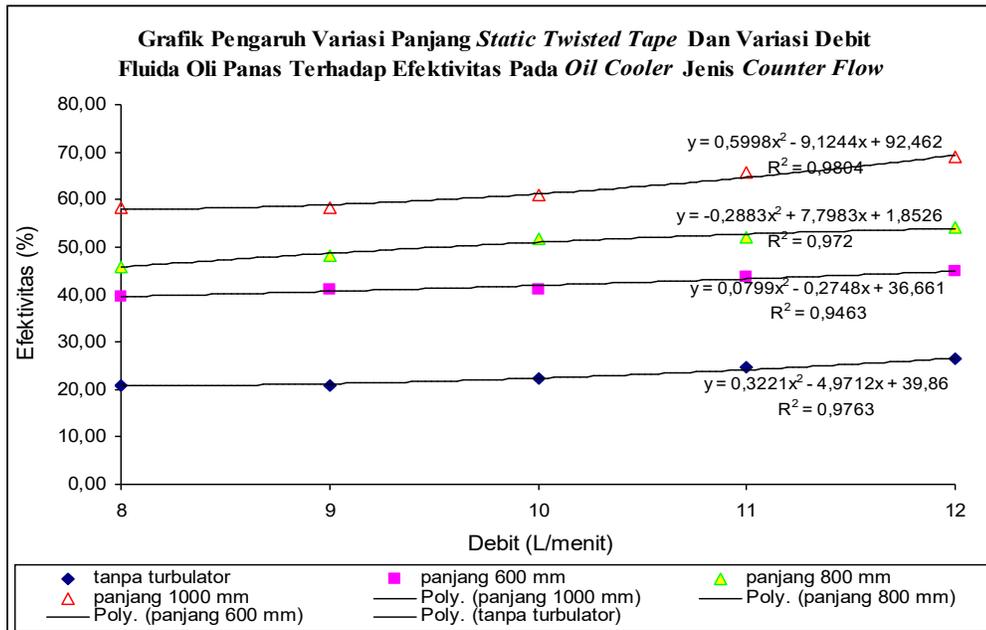
Pada variasi debit yang sama dengan pemasangan *static twisted tape* menyebabkan peningkatan efektifitas dari alat penukar kalor dibandingkan dengan tanpa pemasangan *static twisted tape*. Dengan semakin besarnya panjang *static twisted tape*, pada debit aliran fluida oli panas yang sama, laju perpindahan kalor nyata yang ditimbulkan pada masing-masing pengujian menjadi lebih tinggi. Hal ini akan mengakibatkan peningkatan efektifitas pada masing-masing variasi debit pengujian. Seperti pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa efektifitas paling baik oleh *static twisted tape* dengan panjang 1000 mm. Untuk pengujian alat penukar kalor dengan pemasangan *static twisted tape* panjang 800 mm tidak terlalu jauh berbeda dengan pengujian alat

penukar kalor dengan pemasangan *static twisted tape* panjang 600.

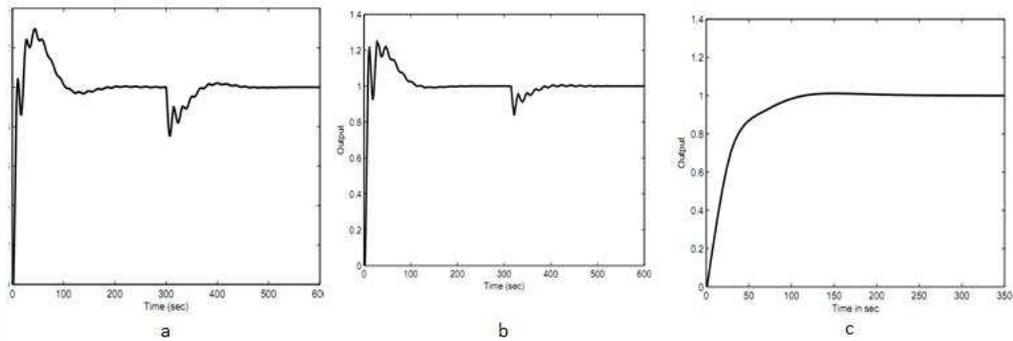
Panjang *static twisted tape* yang paling baik adalah pada panjang pipa 1000mm dengan laju perpindahan kalornya sebesar 366,40 Watt dan menimbulkan penurunan tekanan sebesar 1.106,98 Pa.

Subhransu Padhee [3], pada penelitiannya yang berjudul *Controller design for temperature control of heat exchanger system in simulation studies*, yang fokus penelitiannya pada analisa performansi dari beberapa teknik kontroler yang akan diterapkan untuk meregulasi temperatur pada *heat exchanger*, dan dari simulasi didapatkan bahwa internal model control mempunyai nilai performansi yang lebih tinggi dibandingkan

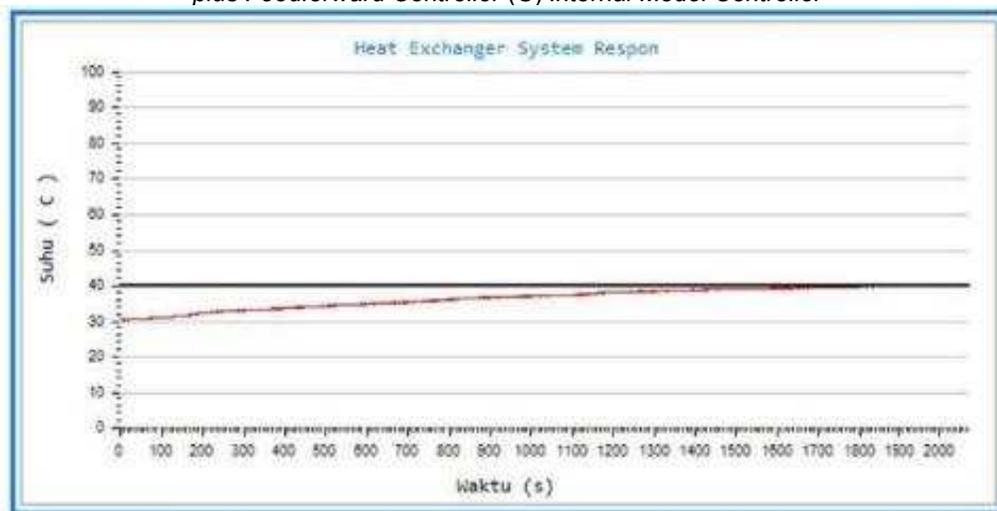
metode *feedback- and feedback plus-feedforward* tinggi pada *setling time* yang sama, seperti pada *controller*, implementasi menggunakan PID Gambar 3. *controller* menunjukkan derajat *overshoot* yang



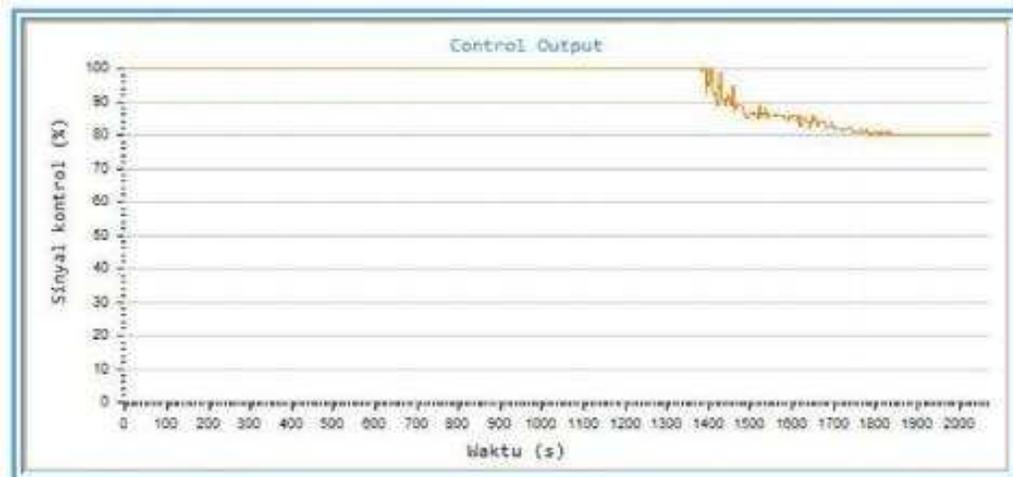
Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Panjang *Static Twisted Tape* dan Variasi Debit Fluida Oli Panas Terhadap Efektivitas



Gambar 3. Set Point Dan Load Disturbance Respon Menggunakan (A) *PID Controller* (B) *Feedback plus Feedforward Controller* (C) *Internal Model Controller*



Gambar 4. Respon Sistem Metode Fuzzy PID dengan Referensi Tetap

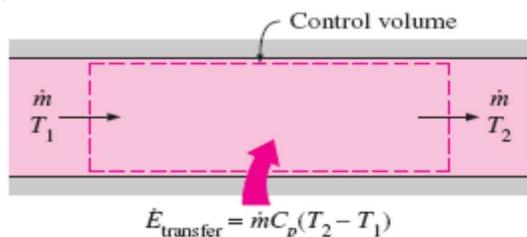


Gambar 5. Sinyal PID dengan Referensi Tetap

Rohmat Hidayat [4], dalam seminar tugas akhirnya yang berjudul aplikasi *fuzzy logic* untuk tuning parameter kontrol PID pada pengaturan suhu cairan *shell and tube heat exchanger*. Perancangan *hardware* nya menggunakan sensor suhu LM35, motor servo DC yang digunakan untuk menggerakkan kran (*valve*), sebuah pemanas (*heater*) dengan daya 300 watt dengan sumber tegangan AC dan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat kendali dan PC, pengujian referensi dengan masukan tetap seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

2.2 DASAR TEORI

Energi kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dari satu sistem ke sistem yang lain. Pada fluida yang mengalir *steady* di dalam suatu saluran dimana terdapat satu *inlet* dan satu *outlet* maka laju aliran massa fluida yang masuk akan sama dengan laju aliran massa fluida keluar atau $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$, jika fluida tersebut tidak melakukan kerja maka besarnya energi kalor yang ditransfer akan sama dengan perubahan energi yang terdapat pada sistem tersebut, ilustrasi tentang hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.

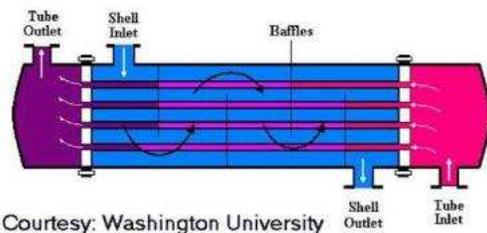


Gambar 6. Transfer Energi Kalor Pada Sistem Dengan Kontrol Volume [1]

Besarnya laju energi kalor pada sistem tersebut dapat dinyatakan oleh Persamaan 1.

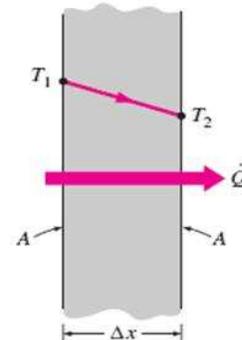
$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai *transfer* energi dari suatu sistem ke sistem lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur, *transfer* energi ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan akan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama untuk terjadinya perpindahan sistem tersebut. Kalor, jika kedua sistem mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan ada perpindahan kalor pada kedua, model heat exchanger yang akan dibuat seperti pada Gambar 7.



Courtesy: Washington University

Gambar 7. Heat Exchanger Tipe Shell Dan Tube



Gambar 8. Perpindahan Kalor Secara Konduksi [1]

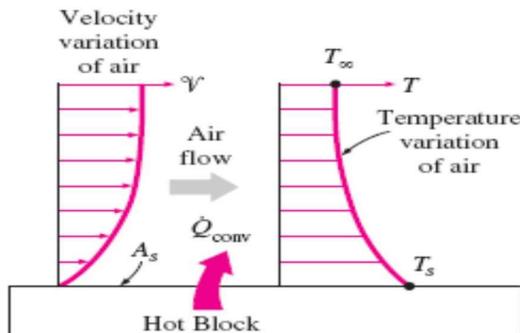
Perpindahan kalor konduksi didefinisikan sebagai suatu proses perpindahan kalor melalui lapis benda padat, perpindahan kalor konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair maupun gas. Pada benda cair dan gas perpindahan kalor konduksi terjadi karena adanya tumbukan

(collision) serta difusi pada molekul selama mengalami gerakan acak akibat kenaikan temperatur, sedangkan pada benda padat perpindahan kalor konduksi terjadi karena kombinasi getaran molekul pada kisi kisinya serta perpindahan energi oleh elektron bebas, seperti pada Gambar 8.

Laju perpindahan kalor konduksi dikemukakan oleh J.B.J. Fourier pada tahun 1822 yaitu besarnya laju perpindahan kalor konduksi proporsioanal terhadap luas permukaan yang dilalui kalor, perbedaan temperatur, dan konduktivitas *thermal* material, namun berbanding terbalik terhadap ketebalan dari permukaan yang dilalui oleh kalor.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x} \quad (2)$$

Perpindahan kalor konveksi adalah mekanisme perpindahan kalor melalui lapis fluida, baik berupa fluida cair atau gas, seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Perpindahan Panas Konveksi Dari Permukaan Panas Dengan Aliran Udara Dingin

2.3 DATA DAN ANALISIS DATA

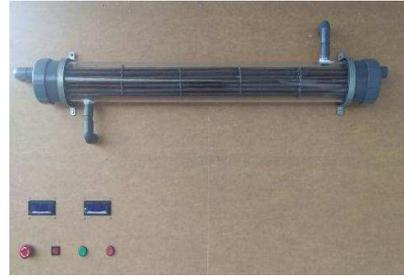
Purwarupa *heat exchanger* menggunakan dua bahan bahan yang berbeda untuk *shell* dan *tube*, bahan untuk pembuatan *shell* menggunakan pipa acrylic dan untuk *tube* menggunakan bahan tembaga, Pada perancangan purwarupa *heat exchanger* untuk pipa *shell* mempunyai diameter 100 mm dan diameter luar 110 mm, dengan panjang *shell* ditentukan 1000 mm, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Shell Dan Tube Pada Purwarupa Heat Exchanger

Model purwarupa *heat exchanger* tersebut, dirancang berdasarkan *heat transfer* model

staggered tube bank, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 11.

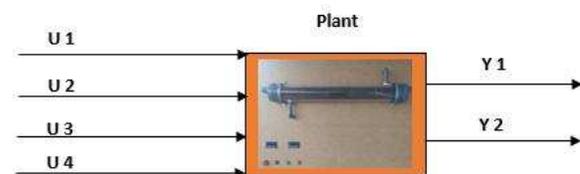


Gambar 11. Model Staggered Tube Bank

Langkah selanjutnya adalah dengan cara mengidentifikasi keluaran dari input – output plant purwarupa, sehingga didapatkan model matematis dari plant tersebut. Model matematis yang dimaksud adalah model transfer function dari plant purwarupa heat exchanger tersebut. Langkah langkah untuk mendapatkan model matematis atau transfer function dengan memanfaatkan MATLAB adalah sebagai berikut:

- a) Tentukan masukan (input) plant:
 - U1 = suhu oli masuk
 - U2 = suhu air masuk
 - U3 = flowrate air
 - U4 = flowrate oli
- b) Tentukan keluaran (output) plant:
 - Y1 = suhu oli keluar
 - Y2 = suhu air keluar

Berdasarkan input dan output dari plant, maka diagram blok identifikasi plant seperti pada Gambar 12.



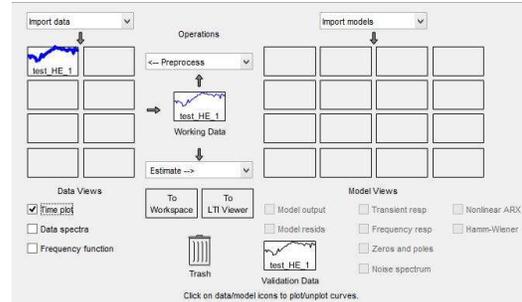
Gambar 12. Diagram Blok Plant.

Langkah selanjutnya adalah mengambil data keluaran dari input dan output *plant* purwarupa, seperti pada Tabel 1.

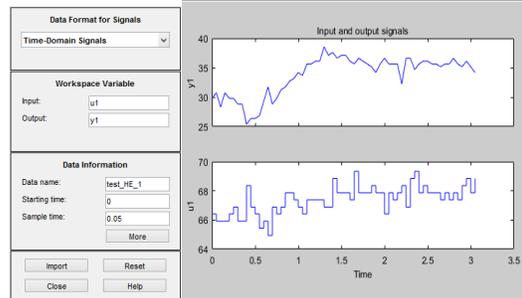
Tabel 1. Data Keluaran dari Input dan Output

| Flow rate water (L/min) | Temp water in (C) | Temp oil in (C) | Temp oil out (C) |
|-------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 7.63 | 20.02 | 66.41 | 29.79 |
| 29.49 | 19.04 | 65.92 | 30.76 |
| 32.01 | 20.63 | 65.92 | 28.32 |
| 32.18 | 24.41 | 65.92 | 30.76 |
| 32.35 | 24.74 | 66.41 | 29.79 |
| 32.16 | 22.46 | 66.89 | 29.79 |
| 32.40 | 15.23 | 65.92 | 28.81 |
| 32.21 | 19.28 | 65.92 | 28.81 |
| 32.21 | 19.28 | 68.36 | 25.39 |
| 32.23 | 19.74 | 66.89 | 26.37 |
| 32.21 | 18.35 | 66.41 | 26.37 |
| 32.33 | 20.02 | 65.43 | 26.86 |
| 32.18 | 21.21 | 65.92 | 29.30 |
| 31.87 | 21.23 | 64.94 | 31.74 |
| 28.26 | 22.28 | 66.89 | 28.81 |
| 13.22 | 21.48 | 66.41 | 29.79 |
| 12.89 | 22.81 | 66.89 | 31.25 |
| 12.88 | 21.42 | 67.87 | 31.74 |
| 12.88 | 23.44 | 67.87 | 32.71 |
| 12.89 | 18.79 | 67.38 | 33.20 |
| 12.87 | 19.77 | 66.89 | 34.18 |
| 12.89 | 19.74 | 66.41 | 33.69 |
| 13.05 | 19.28 | 67.38 | 35.64 |
| 12.87 | 19.46 | 67.38 | 35.64 |
| 12.90 | 19.72 | 67.38 | 36.13 |
| 12.88 | 18.30 | 67.38 | 36.13 |
| 12.89 | 20.18 | 66.89 | 38.57 |
| 13.06 | 18.42 | 66.89 | 37.11 |
| 5.09 | 18.21 | 68.85 | 37.60 |
| 2.54 | 18.63 | 67.87 | 36.62 |
| 4.91 | 18.14 | 67.87 | 37.11 |
| 3.73 | 16.21 | 67.87 | 37.11 |
| 3.91 | 16.42 | 67.38 | 36.13 |
| 3.73 | 16.86 | 69.34 | 35.64 |
| 3.73 | 16.77 | 67.87 | 36.62 |
| 3.73 | 16.23 | 67.87 | 36.13 |
| 3.73 | 16.28 | 67.87 | 35.64 |
| 10.35 | 16.18 | 68.36 | 35.16 |
| 11.02 | 17.23 | 67.87 | 34.18 |
| 11.02 | 17.58 | 67.87 | 35.64 |
| 11.00 | 17.70 | 66.41 | 36.62 |
| 11.04 | 18.25 | 67.87 | 35.64 |

Langkah selanjutnya adalah mengolah data input – output dari plant, dengan memanfaatkan software matlab pada menu identifikasi seperti pada Gambar 13. Langkah selanjutnya adalah memplotkan hasil sinyal dari input dan output plant, seperti pada Gambar 14.

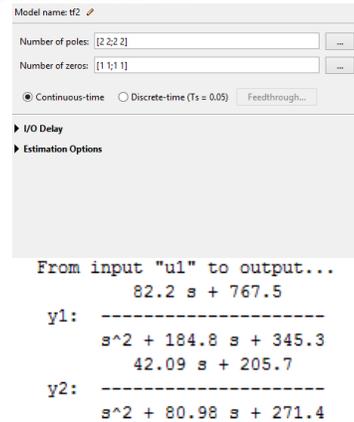


Gambar 13. Identifikasi Plant Dengan Software MATLAB

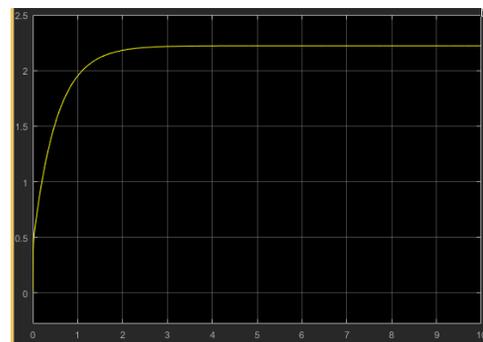
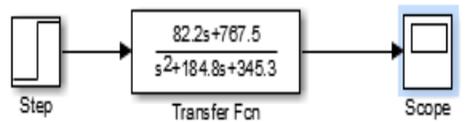


Gambar 14. Ploting Sinyal Input-Output

Dengan tidak mengubah nilai pole, maka model matematis dalam fungsi (s) didapatkan, seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Model Transfer Function Orde 2



Gambar 16. Respon plant tanpa kontroler

Langkah selanjutnya adalah memasukkan model matematis pada menu simulink MATLAB, dan respon plant bisa dilihat pada scope simulink, seperti pada Gambar 16.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. *Plant* purwarupa heat exchanger sebagai cooler telah berfungsi menurunkan fluida panas berupa oli dan media pendingin berupa air.
2. Identifikasi *plant* dengan menggunakan software MATLAB menghasilkan model matematis plant orde 2.
3. Pengujian dengan simulink MATLAB untuk setpoint tetap maka respon plant berada di atas setpoint.

Saran pada penelitian ini adalah:

1. Dibutuhkan suatu metode kontrol untuk memperbaiki kinerja respon plant.
2. Untuk media selain oli belum diteliti, sehingga butuh penelitian lebih lanjut untuk media fluida lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cengel. Y.A."Heat transfer A Practical Approach". McGraw Hill Companies, Amerika, 2003.(references).
- [2]. Budiarto. Hairil, "Decrease in Oil Cooler Pressure of Counter flow With Variation Static Twisted Tape Length". International Journal Of Engineering Research & Technology, Vol.3 – Issue 1. 2014.e-ISSN:2278-0181.
- [3]. Padhee, Subhransu,"*Controller Design for Temperature Control Of Heat Exchanger System: Simulation Studies*". WSEAS TRANSACTION on SYSTEM and CONTROL. E-ISSN: 2224-2856, Vol.9, 2014.
- [4]. Hidayat, Rohmat, "Fuzzy Logic Application for Tuning PID Control Parameters in Shell Temperatur and Tube Heat Exchanger Temperatur Setting". National Conferens, Final Duty departement of Electrical Engineering Diponegoro University Semarang, 2014.
- [5]. Ekasari, Fatimah,"Fluid Temperatur Control on Heat Exchanger Using Algorithm Model Predictive Control (MPC)", Journal of Engineering POMITS, Vol.3,No.1,.ISSN:2337-3539,2014.
- [6]. Syahputra, Romadoni,"Temperature Control Simulation on Heat Exchanger Using Adaptive Neuro-Fuzzy". Journal of Technology, Vol.8, No.2. 2015.
- [7]. Umam, F., "Water Quality Control for Shrimp Pond Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System: The First Project".Journal of Physics: Conference Series.2018.