



Aplikasi Parameter Waktu Kontrol PID pada *Heat Exchanger* dengan Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM)

Muhammad Ikhsan Nst, Azhari*, Nasrul ZA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

*Korespondensi: azhari@unimal.ac.id

Abstrak

Heat exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan atau mentransfer energi panas antara suatu permukaan solid dan fluida atau antara partikel padat dan cairan pada suhu yang berbeda dan dalam kontak termal. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan nilai Kc, Ti, dan Td terbaik kontrol PID pada Heat exchanger prarancangan pabrik Fenol. Sistem kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) merupakan controller untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut (Feed back). Adapun metodologi penelitian ini adalah membuat model steady state Heat Exchanger dari simulasi Pabrik Fenol, kemudian mengubah model steady state menjadi model dynamic, lalu membuat model kontrol PID, setelah itu melakukan tuning terhadap kontrol PID dan melakukan pengujian terhadap kontrol PID dengan set point yaitu 115°C, dengan melakukan gangguan pada PV. Hasil dari pengaplikasian sistem kontrol PID maka didapatkan rata-rata waktu tercepat dengan nilai Kc = 8,82, Ti = 2,58 Td = 0 yaitu 0,38 menit.

Kata Kunci: heat exchanger, PID, present value, set point

Abstarct

Heat exchangers are tools used to transferring or transfer heat energy between a solid surface and fluid or inside different particles and in thermal contact. The objective of the study was to determine the optimum values of Kc, Ti and the best Td which to Heat exchangers of factory phenol design. Proportional-Integral-Derivative (PID) is a controller to determine the precision of an instrumentation system with the characteristics of feedback on the system. As the methodology of this research is to create a steady state Heat Exchanger model, then change the steady state model into a dynamic model, so create a PID model control, then tuning the PID control and testing PID controls, by disturbing the set point setting the valid point 115 °C. The result of applying PID control system then got the fastest average time with value Kc = 8,82, Ti = 2,58, Td = 0 that is 0,38 minutes. At a temperature of 147.6 air vapor rate of 290.8 Kg / hr; at a temperature of 148.6 found

Keywords: *heat exchanger, PID, set point, set point*

1. Pendahuluan

Penukar panas atau heat exchanger adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah uap lewat panas (super heated steam) dan air biasa sebagai air pendingin (cooling water). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antarfluida dapat berlangsung secara efisien.

Masalah utama dalam perancangan kontrol PID (Proporsional Integral Derivative) adalah tuningnya (penentuan nilai K_c , T_i , T_d). Adapun cara untuk mentuning ketiga parameter tersebut dapat menggunakan Metode Ziegler-Nicolas ataupun Metode Trial And Error. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode kontrol PID secara trial and error hal ini tidak dapat dipungkiri, sampai saat ini kontrol PID (Proporsional Integral Derivative) merupakan satu satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan variabel proses di industri. Kepopuleran PID sebagai komponen kontrol proses dilatar belakangi terutama oleh kesederhanaan struktur, serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya (Setiawan, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk untuk menentukan nilai K_c , T_i , terbaik kontrol PID temperature pada Heat exchanger pra-rancangan pabrik fenol dengan mendapatkan waktu respon minimum.

2. Tinjauan Pustaka

Heat Exchanger Shell and Tube

Alat penukar panas cangkang dan buluh (*Shell and Tube*) terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara paralel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel

pada mantel (*baffle*). Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.

Kontrol Proporsional (P)

Pengendali jenis P ((Proporsional) ini terdapat hubungan yang sebanding atau proporsional antara keluaran terhadap kesalahan, secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengendali proportional merupakan perkalian antara konstanta propotional dengan masukannya.

Kontrol Proporsional dan Integral (PI)

Pengontrol PI dikatakan memiliki karakteristik yang sama dalam waktu naik dan overshoot mengecil. Dibandingkan dengan pengendali P, pengendali PI menampilkan hasil tanggapan yang lebih baik dengan mengecilnya overshoot.

Kontrol Proporsional dan Derivative (PD)

Kontrol PD menghasilkan tanggapan yang lebih stabil dan overshoot lebih berkurang dibandingkan dengan pengendali sebelumnya, namun pengaruh terhadap terjadinya kesalahan-kesalahan masih terlihat.

Kendali PID

Masalah mendasar sistem kontrol adalah *tuning* atau penalaan, yaitu menemukan nilai parameter yang tepat agar PV (*Process Variable*) dapat cepat mengejar harga SP (*Set Point*). Penambahan kontroler PID akan memperbaiki performansi sistem pengendalian. Pada aksi kontrol P, mempunyai arti bahwa besarnya aksi kontrol sesuai dengan besarnya *error* dengan faktor pengali tertentu. Kelemahan dari aksi ini adalah terdapat *steady state error* yaitu *output*

mempunyai selisih terdapat *set point*. Aksi kontrol integral (I) akan menghilangkan *steady state error*, artinya *output* sistem akan selalu mengejar *set point* sedekat mungkin. Aksi kontrol integral sering disebut *automatic reset control*. Kelemahan aksi kontrol integral adalah terjadinya osilasi sehingga mengurangi kestabilan sistem. Aksi kontrol (D) derivatif sering disebut *rate control* karena kecepatan perubahan error sebanding dengan sinyal kontrol. Artinya apabila ada perubahan *error*, maka sinyal kontrol beraksi. Aksi kontrol ini memberikan respon terhadap perubahan sinyal *error* dan mampu mengoreksinya sebelum error bertambah besar. Aksi kontrol ini mampu mengantisipasi *error*, mempercepat respon sistem dan meningkatkan stabilitas sistem. Kelemahan dari aksi ini adalah terdapat *steady state error* karena *error* konstan tidak akan menghasilkan sinyal kontrol (sistem yang sudah *steady* tidak menghasilkan aksi kontrol walaupun jauh dari *set point*).

Aksi kontrol PID merupakan gabungan aksi kontrol dengan penambahan Proporsional, Integral dan derivatif secara bersamaan, yang akan menghasilkan performansi serta keuntungan gabungan ketiganya. PID mempunyai karakteristik reset kontrol dan rate kontrol yaitu meningkatkan respon dan stabilitas sistem serta mengeliminasi *steady state error*.

Persamaan kontrol PID dalam bentuk Laplace:

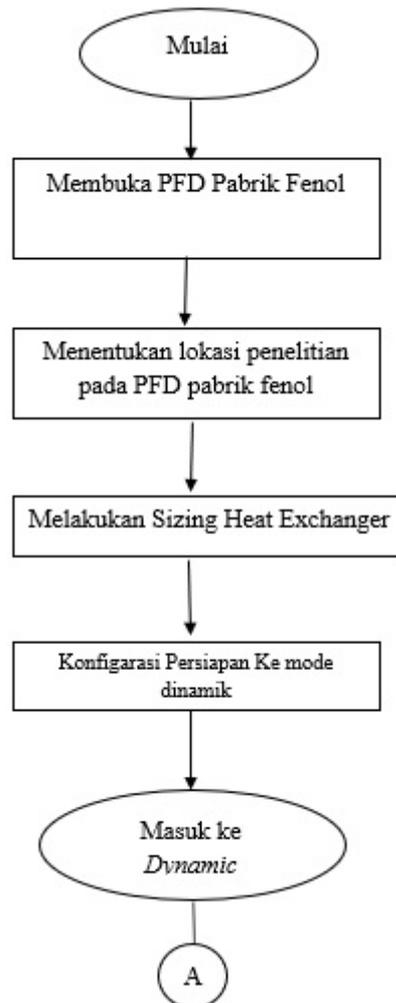
$$U(s) = K_p (E(s) + \frac{1}{T_i s} E(s) + T_D s E(s)) \quad (1)$$

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Software Aspen Hysys V8.8*. Tahapan-tahapan yang perlu dilakukan adalah:

1. Membuat model *steady state heat exchanger, flow chart* dapat *steady state* dapat dilihat pada Gambar 1.
2. Mengubah model *steady state* menjadi *mode dynamic heat exchanger, flow chart* dapat dilihat pada Gambar 2.

3. Membuat model kontrol PID dan melakukan *tuning* Kc, Ti dan Td pada unit *heat exchanger*. *Flow chart* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

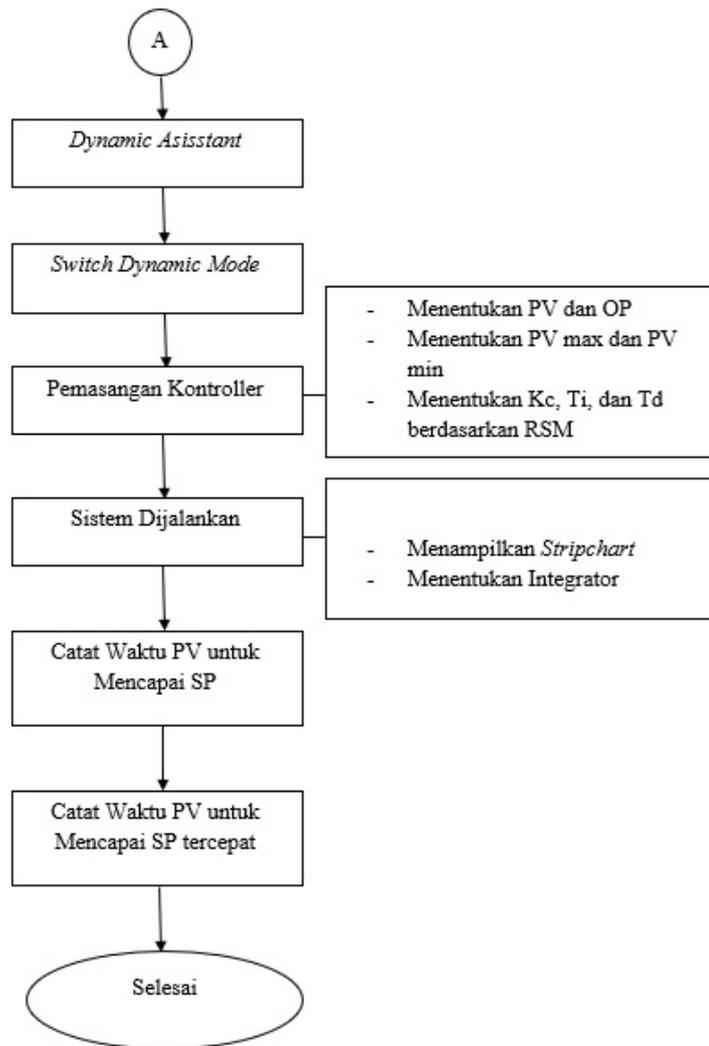


Gambar 1. Bagan Tahapan Penelitian (*Steady State*)

4. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini saya melakukan penelitian simulasi pada kontrol PID pada pra rancangan pabrik fenol dari cumene hydroperoxide menggunakan Heat Exchanger sebagai alat yang dikontrol. Jenis Heat Exchanger yang digunakan yaitu 1-2 Shell and Tube. Susunan Tube yang digunakan yaitu tipe Triangular Pitch, dimana susunan triangular memberikan nilai perpindahan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan susunan rotate square dan square karena dengan

susunan triangular dapat menghasilkan turbulensi yang tinggi Di samping itu letak tube lebih kompak (Dwi, 2012).



Gambar 2. Bagan Tahapan Penelitian (*Dynamic*)

Kontroler yang dipakai yaitu kontrol PID untuk mengendalikan suhu keluaran dari reaktor yaitu 438°C menjadi 115°C pada Heat Exchanger. Shell Side ID = 15 ¼ inch, Tube Side Number and Length = 36 inch, 15'0". Nilai Pressure drop yang didapatkan dari data Heat Exchanger di pabrik fenol yaitu sekitar 5,14 psi. Nilai Pressure drop yang didapat dari evaluasi design berada dalam Pressure drop standar yaitu berkisar antara 10 psi, sehingga dapat dikatakan design heat exchanger sudah sesuai dengan design standar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi optimum pengoperasian alat penukar panas berdasarkan penyesuaian nilai parameter K_c , T_i , dan T_d , dalam upaya untuk mendapatkan waktu respon minimum dengan menggunakan Response Surface Method (RSM). Tujuan digunakannya RSM di penelitian ini adalah untuk mengoptimas rentang data trial K_c , T_i dan T_d agar diperoleh laju alir dan waktu yang optimal.

Tabel 1 Data Hasil Penelitian Menggunakan Hasil Dari RSM

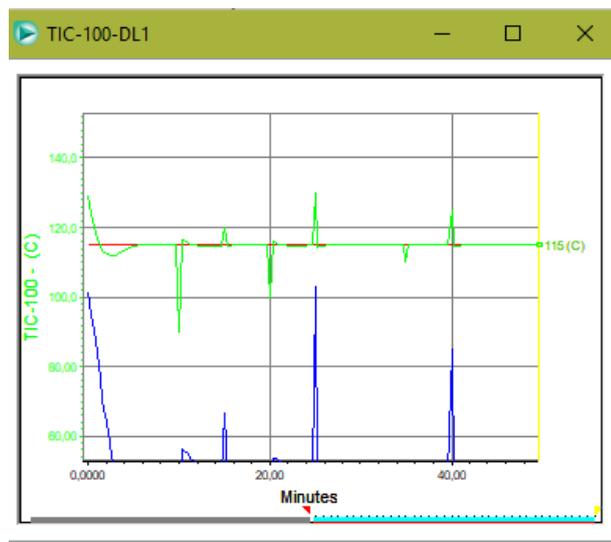
Run	K_c	T_i	T_d	Respon (Menit)
1.	6	4	0	1,63
2.	3,17	2,58	0	1,75
3.	3,17	5,41	0	4,03
4.	6	6	0	2,38
5.	6	2	0	0,76
6.	8,82	2,58	0	0,38
7.	6	4	0	1,63
8.	6	4	0	1,63
9.	10	4	0	0,91
10.	6	4	0	1,63
11.	8,82	5,41	0	2,38
12.	6	4	0	1,63
13.	2	4	0	4,76

Tabel 2 Pengujian kontrol PID yang terbaik dengan nilai $K_c = 8,82$ $T_i = 2,58$ $T_d = 0$

Temperatur ($^{\circ}C$)	K_c	T_i	T_d	Waktu (Menit)
115 – 90	8,82	2,58	0	1,62
115 - 100				0,99
115 – 110				0,54
115 -120				0,38
115 -125				0,46
115 - 130				0,86
Rata-rata				0,808333

Penelitian model kontrol PID ini dilakukan di Heat Exchanger pada simulasi prarancangan pabrik fenol dengan kondisi proses yang bersifat dinamik. Dalam pengujian ini akan dilihat respon dari model kontrol dengan menvariasikan nilai setpoint pada range temperatur (115°C - 90°C, 115°C - 100°C, 115°C - 110°C, 115°C - 120°C, 115°C - 125°C dan 115°C - 130°C).

Tabel 1 Pengujian kontrol PID dengan nilai optimal didapat $K_c = 8,8$, $T_i = 2,58$ $T_d = 0$, dimana dengan suhu 90°C ke 115°C didapat waktu respon 1,62 menit, pada suhu 100°C ke 115°C didapat waktu respon 0,99 menit, pada suhu 110°C ke 115°C didapat waktu respon 0,54 menit, pada suhu 120°C ke 115°C didapat waktu respon 0,38 menit, pada suhu 125°C ke 115°C didapat waktu respon 0,46 menit, pada suhu 130°C ke 115°C didapat waktu respon 0,86 menit dan didapatkan hasil waktu rata-rata 0,80 menit sedangkan bukaan valve (OP) sebesar 59%.



Gambar 3 Grafik hasil pengujian model PID, nilai $K_c = 8,82$ $T_i = 2,58$, $T_d = 0$

Hasil pengujian model PID pada Gambar 3 dengan menggunakan nilai parameter $K_c = 8,8$, $T_i = 2,58$ dan $T_d = 0$. Pengujian model PID membutuhkan penalaan (tuning) untuk mengatur agar control valve (final control element) merespon error. Masalah penyetelan kontroler proporsional (K_c) adalah sifatnya yang selalu menghasilkan offset. Nilai K_c lebih besar daripada nilai lainnya dikarenakan untuk mengurangi offset. Akan tetapi nilai K_c yang terlalu besar akan

menyebabkan sistem cenderung tidak stabil (terjadi osilasi) sedangkan apabila nilai K_c terlalu kecil akan menyebabkan penyimpangan variabel proses (PV) proses terlalu besar. Karena K_c menghasilkan offset maka perlu ditambahkan kendali integral yang berfungsi untuk menghilangkan offset.

Nilai T_i yang terlihat pada Gambar 1 bernilai 2,58. Sama halnya dengan K_c , nilai T_i yang terlalu besar akan menyebabkan sistem berosilasi dan apabila terlalu kecil akan mengakibatkan overshoot. Kemudian setelah dilakukan tuning pada K_c dan T_i respon waktu yang didapatkan sangat lambat. Oleh karena itu nilai T_d sebesar 0 agar mempercepat tanggapan sekaligus memperkecil overshoot variabel proses dengan memperbaiki respon transien.

Berdasarkan Gambar 3 hasil pengujian model PID terlihat adanya hubungan antara Set Point (SP), Process Variabel (PV) dan bukaan valve (OP). SP adalah nilai variabel proses yang diinginkan. PV adalah besaran yang menyatakan keadaan proses dan OP adalah controller output yang sebelumnya diubah dulu oleh transducer menjadi sinyal pneumatik untuk mengatur bukaan control valve sehingga didapatkan temperature yang diinginkan. Terlihat grafik SP cenderung tetap. Grafik PV bergerak naik dan turun menyamakan nilainya dengan SP. Perubahan naik turunnya PV berpengaruh terhadap persentase sinyal kontrol (OP). Sehingga dari hasil diketahui bahwa dengan nilai $K_c = 8,82$ $T_i = 2,58$ dan $T_d = 0$ sebuah sistem pengendalian suhu dapat diterapkan untuk mendapatkan waktu yang paling optimal. Waktu yang optimal dapat memperkecil kemungkinan kecelakaan kerja, kerusakan peralatan, dan memperkecil keragaman kualitas dan produktivitas.

Hasil dengan menggunakan Design Expert Response Surface Methods (RSM)

Tabel 3 Design Expert Response Surface Methods (RSM)

Run	Faktor 1 A: K_c	Faktor 2 B: T_i	Respons 1 Waktu (menit)
1	6	4	1,63
2	3,17	2,58	1,75

3	3,17	5,41	4,03
4	6	6	2,38
5	6	2	0,76
6	8,82	2,58	0,38
7	6	4	1,63
8	6	4	1,63
9	10	4	0,91
10	6	4	1,63
11	8,82	5,41	2,38
12	6	4	1,63
13	2	4	4,76

Analisa Respon 1 (waktu)

Berikut Analisa Varian (ANOVA) untuk respon waktu pada Tabel 4.

Tabel 4 Analisa Varian (ANOVA) untuk Respon Waktu

Source	Sum Of Square	DF	Mean Square	F Value	P-Value Prob>F	Keterangan
Model	16,86664	5	3,373329	19,06567	0.0006	significant
A-Kc	8,95644	1	8,95644	50,62079	0.0002	
B-Ti	5,397298	1	5,397298	30,50492	0.0009	
AB	2,385785	1	2,385785	13,48419	0.0079	
A ²	0,015285	1	0,015285	0,086391	0.7773	
B ²	0,0196	1	0,0196	0,110777	0.7490	
Residual	1,238524	7	0,176932			
Lack of Fit	1,238524	3	0,412841			
Pure Error	0	4	0			
Cor Total	18,10517	12				

Tabel 4 di atas menunjukkan ANOVA Respon Steam dengan Design Expert 6.0.8. model dapat dinyatakan memiliki pengaruh yang signifikan jika model memiliki nilai probabilitas <0,05. Namun, jika nilai lebih besar dari 0,1 maka model yang ditunjukkan tidak signifikan. Pada Tabel 4.5 diatas menyatakan bahwa hanya persamaan A memiliki nilai probabilitas <0,05 dan memiliki pengaruh signifikan yang berarti bahwa ada hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat.

Tabel 5 Menunjukkan Nilai R²

<i>Std.Dev.</i>	0,420633	<i>R-Squared</i>	0,931593
<i>Mean</i>	1,961538	<i>Adj R-Squared</i>	0,88273
<i>C.V.%</i>	21,44403	<i>Pred R-Squared</i>	0,513549
<i>PRESS</i>	8,807285	<i>Adeq R-Squared</i>	13,78178

Model dapat dikategorikan sebagai model yang sesuai bila model tersebut memiliki koefisien korelasi $R^2 > 0,75$. Model yang secara statistik dikategorikan cukup baik bila R^2 mendekati 1. Dan model dapat diterima bila model tersebut memiliki koefisien korelasi $R^2 > 0,50$.

Sebuah model dapat dikategorikan sebagai model yang sesuai apabila model tersebut memiliki koefisien korelasi $R^2 > 0,85$. Model pada penelitian ini menunjukkan nilai R^2 mendekati nilai 1 yaitu 0,931593.

Berikut ini adalah persamaan coded factor, yaitu:

$$\text{Waktu} = +3.39165 - 1.18253 * Kc + 0.87330 * Ti + 0.073203 * Kc^2 - 0.023437 * Ti^2 - 0.017500 * Kc * Ti$$

5. Simpulan

Dari data hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya, Kesesuaian nilai konstanta-konstanta Kc , Ti , Td dapat mempengaruhi kemampuan dari kontroler untuk merespon gangguan dengan cepat. Waktu rata-rata tercepat dalam merespon gangguan dengan bervariasi *laju alir* yaitu dengan nilai *tuning* parameter $Kc = 3$ $Ti = 0,01$ $Td = 0,04$ waktu yang dibutuhkan 0,38 menit. Nilai yang didapat dari R-Squared yaitu $R^2 = 0,931593$, menunjukkan dapat diterima.

6. Daftar Pustaka

- Agnihotri, S. P. and Waghmare, L. M. (2016) ‘Optimal tuning of PID controller with time delay system using CS and SRMR technique’, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 31(3), pp. 1287–1297. doi: 10.3233/IFS-162195.
- Budiyanto, S. M. R. W. N. E. (2014). Simulasi Kontrol PID untuk Mengatur Putaran Motor AC. *Prosiding SNST Ke-5*, 23–28.

- Brogan, W.L., *Modern Control Theory*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1985.
- Cengel, Y. A. 1997, “Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer“, New York:McGraw Hill,.
- Cooper, 2000. *Practical proses control*. Texas
- Dewhurst, H. M. and Torres, M. P. (2017) ‘Systematic analysis of non-structural protein features for the prediction of PTM function potential by artificial neural networks’, *PLoS ONE*, 12(2), pp. 1–18. doi: 10.1371/journal.pone.0172572.
- Donapati, Srinivas, 2006, “Autotuning of PID Controllers”, Delhi: Indian Institute of Technology Bombay.
- Dwi, Indra Wibawa., *Heat Exchanger*, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, 2012.
- Foust, A.A., 1980, “Principles of Unit Operation”, 2nd edition, John WileyAnd Sons Inc., New York.
- Kern.D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, NewYork.
- Navigation controller design using fuzzy logic theory for vehicle parallel automatic parking yibing zhao’ (2016), 22(2), pp. 1289–1298.
- Nguyen, T. H. and Kim, K.-H. (2017) ‘Finite Control Set–Model Predictive Control with Modulation to Mitigate Harmonic Component in Output Current for a Grid-Connected Inverter under Distorted Grid Conditions’, *Energies*, 10(7), p. 907. doi: 10.3390/en10070907.
- Pakpahan, Sahat, 1988, *Kontrol Otomatik Teori dan Penerapan*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Setiawan, Iwan. (2008). “Kontrol PID untuk Proses Industri“. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Setiawan, I. (2008). *Kontrol PID untuk Proses Industri Beragam Struktur dan Metode Tuning Praktis*.
- Shely Dian, 2010. *Peralatan Penukar Panas*. Surabaya: Surabaya Press
- Sitompul, Tunggul M. 1993, *Alat Penukar Kalor*, edisi 1. Jakarta: PT.Raja Grafindo Persada.

S. Patankar, 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, Washington D.C.

Syahrudin, Nasrul. (2006). "Heat Exchanger Introduction". Balikpapan

T N Luan et.al, "Design of Multi-Loop PID Controllers Based on the generalized IMC-PID Method with Mp Criterion," International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 5, no. 2, 2007, pp. 212-217.