

# Rancangan Optimalisasi Kendali Aliran Sistem Pendingin Air untuk Meningkatkan Efektivitas *Heat Exchanger*

M. Arief Rafianto<sup>1</sup>, Ignatius Riyadi Mardiyanto<sup>2</sup>, Supto Prajogo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: m.ariet.tken417@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: Ignatius.mardiyanto@polban.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail: saptoprajogo@gmail.com

## ABSTRAK

Pada PT. Sanbe unit WTP terdapat proses pendinginan WFI (*Water for Injection*) yang menggunakan *heat exchanger* dalam proses pendinginannya. Dengan menggunakan HE berjumlah dua yang dirangkai seri berfungsi untuk mendinginkan WFI hingga keluaran dari HE tersebut berkisar 23-26°C. Temperatur WFI keluaran HE pada kondisi operasi seringkali tidak sesuai dengan keinginan yaitu dengan rata-rata 27,7°C dan mengakibatkan kegagalan produksi sebanyak 20%. Hal ini disebabkan kinerja kedua HE dalam kondisi tidak baik, yakni bernilai HE1 0,47 dan HE2 0,65. Solusi untuk meningkatkan efektivitas dari kedua HE untuk meng-optimalisasi rancangan kendali yang sudah ada, dengan memindahkan komponen *mixer*, dari sebelum HE2 menjadi sebelum HE1, dan mode pengendalian yang digunakan *Closetloop Feedback* dengan PID *controller* untuk kontrol temperature dan PI *Controller* untuk kontrol laju alir. Dengan bantuan *software Aspen-HYSYS*, hasil rancangan diperoleh parameter pengendali Kp 0.3; Ti 40s; Td 10s untuk TIC-105 dan Kp 1,3125; Ti 66,6s untuk FIC-101, pada perubahan beban menghasilkan *undershoot* yang lebih rendah, yakni 0,16%-0,44% dengan *settling time* 0s-0.5s & *steady state* sebesar 0,2%. Dari hasil rancangan optimasi tersebut meningkatkan efektivitas *heat exchanger*, 0,53 untuk HE1 & 0,71 untuk HE2. Dan optimasi ini memiliki perhitungan ekonomi dengan NPV Rp.191.274.183,86.; *Payback Period* 1,61 tahun; IRR 19%.

## Kata Kunci

*Heat exchanger, sistem kendali, peningkatan efektivitas, aspen-hysys, kelayakan ekonomi.*

## 1. PENDAHULUAN

Pada industri farmasi ketepatan ukuran sangatlah dijaga, karena jika ukuran-ukuran tersebut tidak sesuai dengan *Standar Operational Prosedur* nya yang telah ditentukan oleh suatu pabrik, maka akan berdampak pada kualitas dari produk yang akan dihasilkan. *Water for Injection* (WFI) adalah air hasil distilasi yang digunakan sebagai bahan utama untuk pelarut dalam pembuatan air infus.

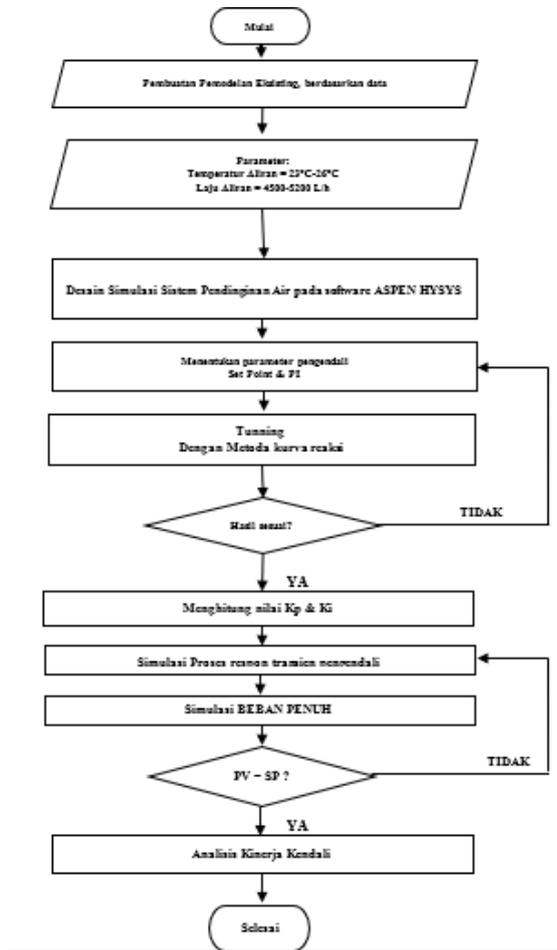
Merujuk pada ketentuan PT. Sanbe tahun 2020, temperatur WFI harus tetap terjaga pada temperatur 70°C-90°C untuk mencegah tumbuhnya bakteri ataupun kuman, tetapi WFI yang akan disirkulasikan untuk memenuhi kebutuhan produksi air infus harus didinginkan terlebih dahulu hingga sesuai dengan *setpoint* yang sudah ditetapkan oleh pabrik (23°C-26°C) agar tidak merusak kualitas. Berdasarkan hasil dari laporan tugas akhir sebelumnya, kondisi yang terjadi dilapangan temperatur keluaran sistem WFI ini tidak sesuai dengan *setpoint* nya. Sehingga kualitas dari produk yang dihasilkan menjadi kurang bagus, dan mengakibatkan kegagalan produksi hingga 20%. Hal ini dapat terjadi karena kinerja yang rendah dari *heat exchanger* yang digunakan untuk mendinginkan air tersebut.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kerugian / *losses* yang ditimbulkan oleh *heat exchanger 1* maupun *heat exchanger 2* ini tanpa merubah atau mengganti komponen tersebut adalah dengan cara memindahkan komponen *mixer* yang sebelumnya ditempatkan pada masukan HE2 akan dipindahkan menjadi pada masukan HE1, agar temperatur masukan kedua *heat exchanger* dapat lebih rendah dari kondisi eksistingnya. Selain itu untuk mencapai temperature WFI yang diinginkan serta stabil digunakan sistem kendali dalam pengendaliannya. Kendali yang digunakan berupa *Closetloop Feedback* dengan PID *Controller* untuk kendali temperatur dan PI *Controller* untuk kendali laju alir.

Efektivitas eksisting HE1 dan HE2 hanya didapatkan nilai 0,47 dan 0,65. Menurut (Energy, 2016) efektivitas minimal untuk HE jenis *Shell&Tube* itu >0,65. Maka tujuan dari laporan ini meningkatkan efektivitas HE dengan tetap menjaga realibilitas produksi dengan harga rendah. Batasan masalah pada rancangan ini tidak membahas *maintenance*, desain alat, instrumentasi dan kelistrikan.

## 2. METODE

### 2.1 Diagram alir perencanaan perancangan



Gambar 2-1 Diagram alir perancangan

Metodologi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2-1 diatas, dari simulasi eksisting hingga menganalisa kinerja kendali. Diagram alir tahap perancangan ini dimulai dengan membuat pemodelan eksisting menggunakan Aspen-Hysys berdasarkan data aktualnya, kemudian membuat *re-design* pada software yang sama baik itu aliran prosesnya maupun rancangan sistem kendalinya dengan mengacu kriteria yang sudah ditetapkan. Tentukan metode pengendalian berdasarkan kelakuan kendali yang didapatkan dari hasil *tuning*. Jika sudah didapatkan parameter  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  yang tepat, maka dilakukan pengujian *respon transien*, pengujian beban penuh pada sistem kendali yang telah dibuat. Jika  $PV$  (*Process Variable*) sudah memenuhi  $SP$  (*SetPoint*), maka dapat dilanjutkan dengan analisis perancangan hingga analisis kelayakan ekonominya.

### 2.2 Kriteria Rancangan

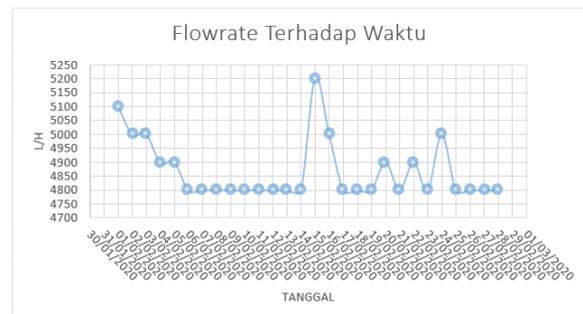
Sebelum melakukan suatu perancangan sistem pendinginan, dibutuhkan kriteria rancangan yang diinginkan. Berikut kriteria rancangan pada makalah ini:

Tabel 2-1 Kriteria perancangan

Parameter	Nilai	Unit
Temperature keluaran HE 2	23-26	°C
Laju Alir	4200-5200	L/h
Efektivitas HE	> 0,65	-
NPV	> 0	Rp./thn
<i>Payback Period</i>	< 5	tahun
IRR	> MARR	%

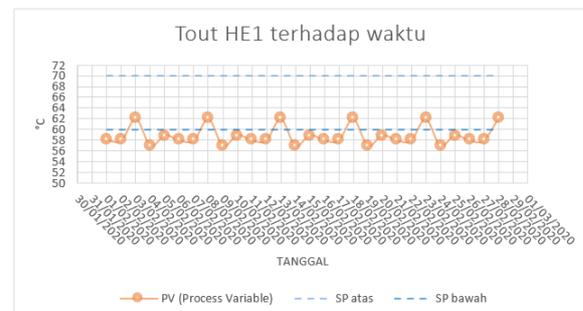
### 2.3 Data

Data pada makalah ini diambil dari PT. Sanbe Farma pada bulan februari 2020. Berikut ini data laju alir dan temperature keluaran *Heat Exchanger*, yang dapat diukur menggunakan sensor aliran (*Flow Meter*) dan sensor suhu (*Thermocouple*), kemudian dapat dibaca pada DCS (*Distributed Control System*) pada ruang kontrol PT. Sanbe.



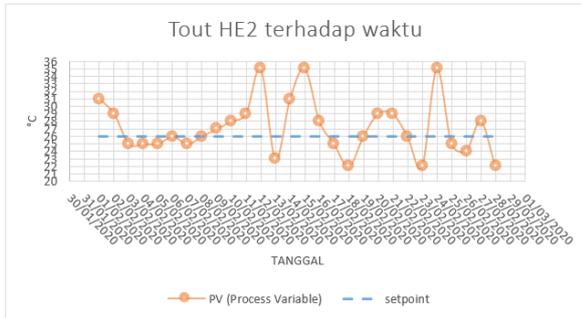
Gambar 2-2 Laju alir

Pada Gambar 2-2 Laju alir diatas, menunjukkan laju alir pada sistem pendinginan air WFI setiap harinya. Didapatkan nilai terendah sebesar 4800 L/h dan nilai tertinggi nya sebesar 5200 L/h.



Gambar 2-3 Temperatur HE1out

Pada Gambar 2-3 Temperatur HE1 out diatas, menunjukkan temperatur HE1 out dengan set point 60°C. Nilai tertinggi didapatkan 62°C sedangkan untuk nilai terendah didapatkan 56°C

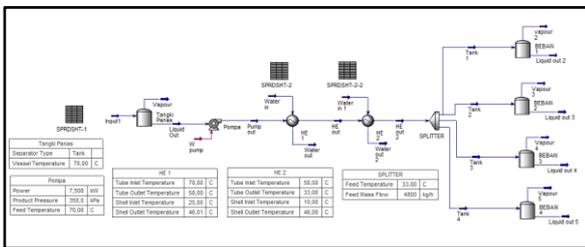


Gambar 2-4 Temperatur HE2out

Pada Gambar 2-4 Temperatur HE2 out diatas, menunjukkan temperatur HE2 out dengan set point 23-26°C. Nilai tertinggi didapatkan 35°C sedangkan untuk nilai terendah didapatkan 23°C.

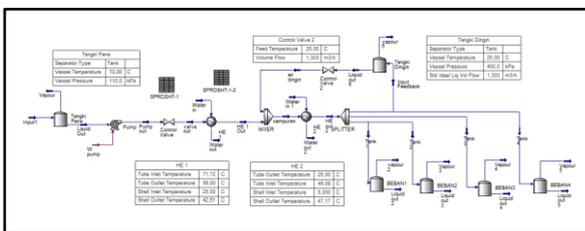
## 2.4 Pemodelan Eksisting

Pada pemodelan eksisting dilakukan dengan bantuan *software Aspen-Hysys*. Berikut ini merupakan pemodelan eksisting dan pemodelan perancangan sebelumnya.



Gambar 2-5 Simulasi eksisting

Pada Gambar 2-5 Simulasi eksisting ini belum terdapat rangkaian sistem kendalinya, hanya terdapat komponen *heat exchanger* yang dirangkai secara seri.



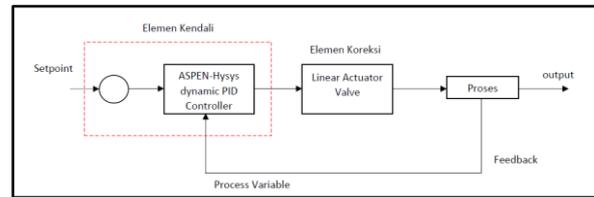
Gambar 2-6 Simulasi yang akan dioptimasi

Sedangkan pada Gambar 2-6 Simulasi yang akan dioptimasi ini merupakan landasan utama pada makalah ini. Gambar tersebut merupakan hasil penelitian sebelumnya yang dikembangkan oleh Hidayat, Rahmat tahun 2020.

Pada perancangan sebelumnya terdapat penambahan tangki yang mengambil inputnya dari keluaran HE2 dan dikeluarkan kembali menuju komponen *mixer* untuk dicampurkan antara WFI panas dan WFI dingin, guna menurunkan temperatur yang masuk pada HE2. Sehingga kinerja dari HE2 akan menjadi lebih ringan.

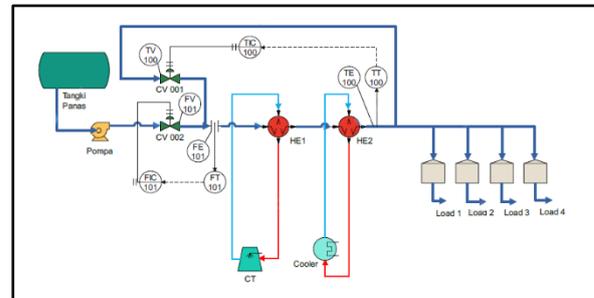
## 2.5 Skema Rancangan

Dalam perancangan sistem kendali perlu dilakukan skema terlebih dahulu sebelum melakukan perancangan. Dibawah ini terdapat gambar diagram blok sistem kendali (Gambar 2-7) dan P&ID dari sistem kendali proses tersebut (Gambar 2-8).



Gambar 2-7 Diagram blok pengendalian

Pada perancangan kendali, hanya akan menggunakan metoda *Closetloop Feedback* sehingga rangkaian kendalinya sangat sederhana seperti gambar diagram blok diatas. Keluaran dari proses akan dikembalikan ke *Controller* untuk dibandingkan dengan *setpoint*, kemudian hasil perbandingan ini akan dikirimkan kepada actuator (*Control Valve*) berupa sinyal, sinyal ini yang akan membuka tutup katup secara otomatis.



Gambar 2-8 P&ID optimaslisasi rancangan sistem pendingin

Sedangkan pada perancangan kendali ini, terdapat dua sistem kendali yang akan dibangun, kendali untuk temperatur dan kendali untuk laju alir. Kendali untuk temperatur ditandai dengan TT-100 (*Temperature Transmitter*) yang kemudian akan dikirimkan menuju TIC-100 (*Temperature Indicating Controller*) kemudian diteruskan menuju TV-100 (*Temperature Valve*). Untuk kendali laju alir, sama halnya seperti kendali temperatur, dari komponen FT-101 (*Flow Transmitter*) menuju FIC-101 (*Flow Indicating Controller*) dan diteruskan menuju FT-101 (*Flow Valve*) sebagai aksi pengendalian terakhir.

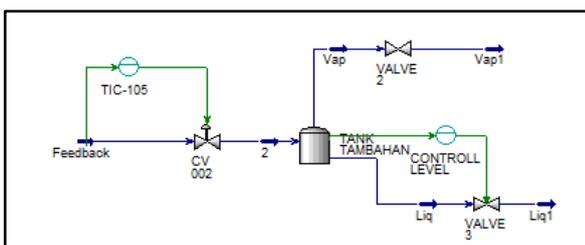
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perancangan Sistem Kendali

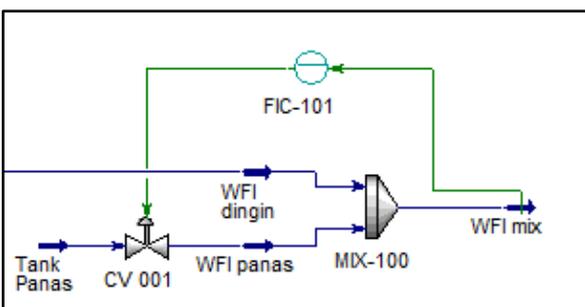
Hal yang pertama dilakukan pada perancangan sistem kendali adalah *tunning*. Berikut ini prosedur dalam *tunning* untuk mendapatkan parameter kendali.

Kegiatan *Tunning* dilakukan untuk mencari nilai parameter dari  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Nilai parameter tersebut akan digunakan pada sistem kendali yang sudah dirancang sebelumnya, agar sistem tersebut dapat bekerja dengan optimal sesuai dengan kebutuhan proses. Berikut adalah prosedur melakukan *tunning*:

- Sistem kendali yang hendak di-*tunning*, dilepas terlebih dahulu dari sistem utama, agar tidak mengganggu pada proses. (Operasi manual)
- Sistem pendingin air dioperasikan dalam keadaan *steady state* atau dalam keadaan mantap dengan temperature 26°C.
- Ubah secara mendadak perubahan katup sebesar kurang dari 10% dari kondisi awal katup. Pada *tunning* kali ini akan mengubah sebanyak  $\pm 5\%$ , dari kondisi awal 5% bukaan katup menjadi 10% bukaan katup.
- Catat perubahan tempertaur setiap detiknya hingga kondisi *process variable* kembali normal atau *steady state*.
- Dari data tersebut buatlah grafik, pada metoda Kurva Reaksi, bentuk grafik haruslah berbentuk "S", agar dapat dilakukan proses *tunning*. (Jika tidak berbentuk "S" maka *tunning* tidak dapat dilakukan).
- Dari grafik tersebut buatlah garis singgung yang bersinggungan dengan garis kurva dan titik titik kritis untuk menentukan nilai dari  $\Delta PV$  (perubahan nilai *process variable*),  $\Delta CO$  (Perubahan nilai *Controller Output*), L (waktu mati) dan T (waktu tunda).



Gambar 3-1 *Tunning* TIC-105



Gambar 3-2 *Tunning* FIC-101

Dari Gambar 3-1 dan Gambar 3-2, didapatkan hasil nilai *tunning* sebagai berikut:

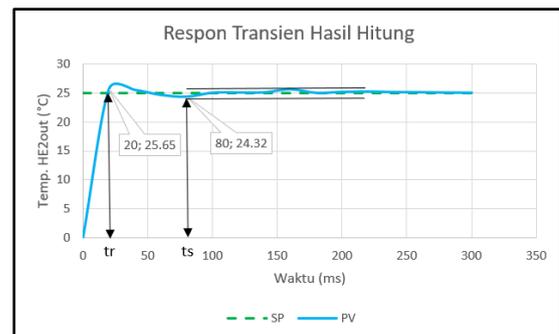
Tabel 3-1 Hasil *Tunning* TIC-105 dan FIC-101

Hasil Perhitungan		
Parameter	TIC-105	FIC-101
$K_p$	0.3	1.3125
$T_i$	40 s	66.6 s
$T_d$	10 s	-

Setelah didapatkan nilai nilai parameter TIC-105 dan FIC-101, kemudian selanjutnya adalah menguji sistem kendali pada simulasi proses keseluruhan, untuk pengujian respon transien dan pengujian beban penuh.

#### 3.2 Analisis Perancangan Sistem Kendali

Setelah *tunning* telah dilakukan, maka dilakukan pengujian sistem kendali tersebut. Berikut ini respon transien dari hasil simulasi.

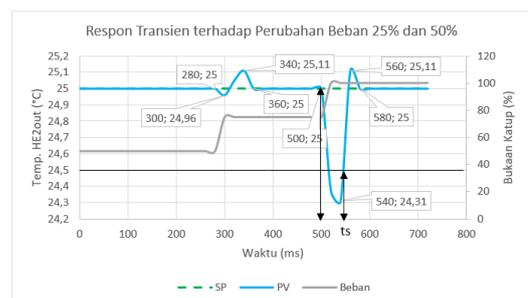


Gambar 3-3 Grafik respon transien

Pada gambar diatas menghasilkan parameter kendali sebagai berikut:

- Rise Time ( $t_r$ ) : 0,2 s
- Max Overshoot : 25,65 °C (2,6%)
- Max Undershoot : 24,32°C (2,72%)
- Settling Time ( $t_s$ ) : 0,8 s
- Steady State : 0 %

Setelah itu, lakukan pengujian beban penuh, dengan mengoperasikan secara manual, dan mengubah bukaan katup secara tiba-tiba. Pada makalah ini perubahan beban dilakukan sebesar 25% dan 50%.



Gambar 3-4 Grafik respon transien uji beban penuh

Pada pengujian tersebut didapatkan parameter sistem kendali yang akan dijelaskan pada keterangan dibawah ini.

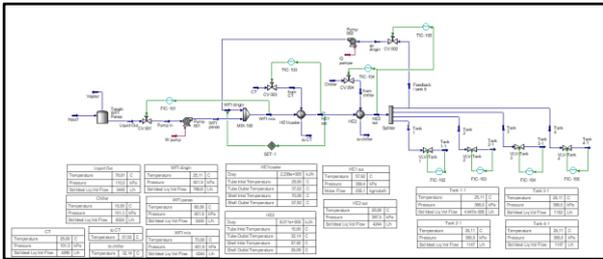
Pada perubahan beban 25%, didapatkan:

1. *Maximum Undershoot* : 24,96 °C (0,16%)
2. *Maximum Overshoot* : 25,11 °C (0,44%)
3. *Steady State* : 25,05 °C ~ 0,2%
4. *Settling time* : -

Pada perubahan beban 50%, didapat data:

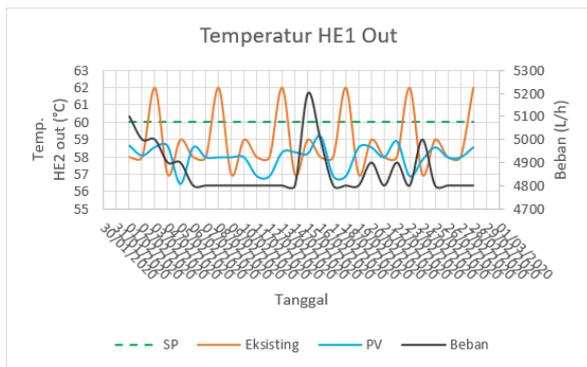
1. *Maximum Undershoot* : 24,31 °C (3,47%)
2. *Maximum Overshoot* : 25,11 °C (0,44%)
3. *Steady State* : 25,05 °C ~ 0,2%
4. *Settling time* : 550-500=50ms~ 0,5s

Setelah itu langkah terakhir adalah dengan mensimulasikan data eksisting pada rangkaian rancangan kendali (Gambar 3-5).



Gambar 3-5 Optimasi rancangan kendali pendingin WFI

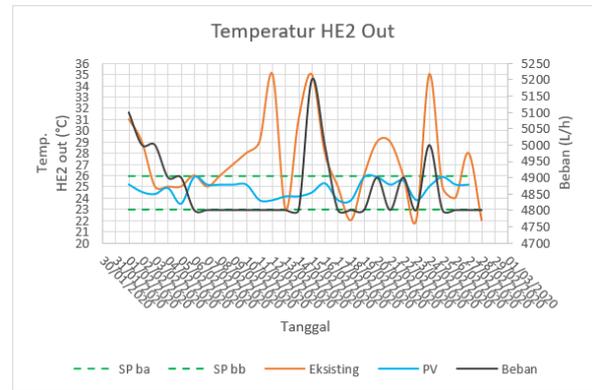
Dari simulasi tersebut, dibuat kembali data setelah perancangan, berikut dibawah ini terdapat grafik data hasil simulasi.



Gambar 3-6 Grafik pengaruh HE1 terhadap pemberian sistem kendali

Pada Gambar 3-6 diatas merupakan data yang dihasilkan dari simulasi yang telah ditambahkan perancangan sistem kendali. Dapat dilihat perbedaannya kondisi eksisting (garis kuning) dan kondisi setelah optimasi (garis biru), terjadi penurunan temperatur pada keluaran HE1, dan telah memenuhi keinginan, karena

nilai yang dihasilkan lebih rendah dari batasan *setpoint* maksimalnya (60°C).



Gambar 3-7 Grafik pengaruh HE2 terhadap pemberian sistem kendali

Sedangkan pada Gambar 3-7 diatas menjelaskan data keluaran HE2 out yang terjadi perubahan setelah penambahan sistem kendali pada rangkaian prosesnya. Sama seperti HE1 out, untuk HE2 out ini pun hasil yang didapatkan sudah memenuhi dari nilai yang diinginkan, karena nilainya berada dibawah nilai *setpoint* nya (26°C).

### 3.3 Analisis Perhitungan Efektivitas Heat Exchanger

Perhitungan efektivitas HE dilakukan dengan menggunakan persamaan i dan ii.

$$\epsilon = \frac{C_h \times (t_{h1} - t_{h2})}{C_{min} \times (t_{h1} - t_{c1})} \dots \dots \dots (i)$$

$$\epsilon = \frac{C_c \times (t_{c2} - t_{c1})}{C_{min} \times (t_{h1} - t_{c1})} \dots \dots \dots (ii)$$

Berikut ini rangkuman hasil perhitungan efektivitas HE.

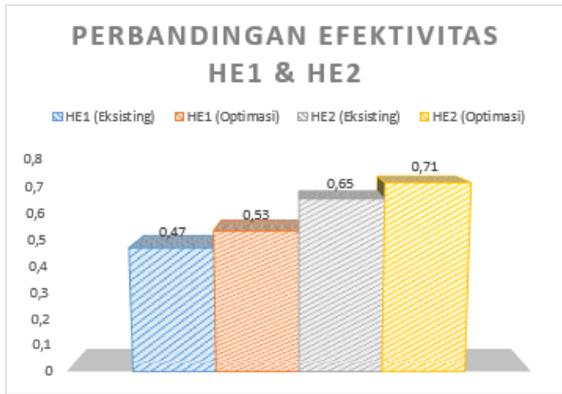
Keterangan	Tfhot (°C)	Tfcold (°C)	Cphot (J/Kg.C)	Cpcold (J/Kg.C)	Ch (J/h.°C)	Cc (J/h.°C)	Cmin (J/h.°C)	ε
HE1	60.99	35.80	4185.396	4180.5	20508440.4	20484273.6	20484273.6	0.53
HE2	39.96	20.55	4180.5	4181.38	20484450	20488762	20484450	0.71

Gambar 3-8 Hasil perhitungan efektivitas setelah optimasi

Setelah didapatkan nilainya, selanjutnya dibandingkan nilai yang didapatkan dengan kondisinya. Nilai efektivitas mengalami kenaikan dari kondisi eksistingnya. HE1 mengalami kenaikan 12,76%, dari 0,47 menjadi 0,53 dan untuk HE2 mengalami peningkatan sebesar 9,2%, dari 0,65 menjadi 0,71.

Melihat hasil tersebut, menurut (energy, 2016) nilai efektivitas untuk *heat exchanger* tipe *shell&tube* minimal 0,65. Tetapi pada HE1 nilai efektivitas hanya mencapai 0,53. Maka untuk HE1 sistem kendali tidak lah berpengaruh besar, untuk lebih meningkatkan efektivitas HE1 dapat dengan cara menambahkan jumlah pipa, memperbesar diameter *shell* atau

mengganti jenis air pendingin, dari air sumur menjadi air refrigerant.



Gambar 3-9 Perbandingan efektivitas HE1 dan HE2

### 3.4 Analisis Perhitungan Ekonomi Teknik

Pada perancangan ini dihitung pula kelayakan proyek ini dengan menghitung NPV, *Payback*, dan IRR. Dengan rincian biaya investasi sebagai berikut.

Tabel 3-2 Biaya investasi

Keterangan	Biaya
Biaya Alat	Rp 85,186,666
Biaya Pengiriman	Rp 6,750,000
Biaya Instalasi	Rp 42,593,333
Biaya Keuntungan Kontraktor	Rp 13,452,999.90
<b>TOTAL BIAYA INVESTASI</b>	<b>Rp 147,982,998.90</b>

Tabel 3-3 Cost saving

Keterangan	HE1	HE2
<b>ENERGY</b>		
Q Eksisting (kJ/h)	248.300	448.800
Q Optimasi (kJ/h)	212.296,43	593.650
Energy Saving (kJ/h)	144.850	
Energy Saving (kWh)	40,23	
Jam Operasi (hour/bulan)	240	
Energy Saving per bulan (kWh)	9.655,2	
Harga Listrik (Rp/kWh)	Rp.996,74/kWh	
<b>Cost Saving (Rp/bulan)</b>	<b>Rp.9.623.724/bulan</b>	
<b>Cost Saving (Rp/tahun)</b>	<b>Rp.115.484.688/thn</b>	

Dari Tabel 3-2 dan Tabel 3-3, dilakukanlah perhitungan mencari nilai NPV, dengan masa usia sistem kendali 5

tahun dan MARR 11%, didapatkan nilai NPV dan IRR sebagai berikut.

Tabel 3-4 Nilai NPV dan IRR

EOY	Investasi	ATCF (After Tax Cash Flow)	(P/A <sub>i</sub> % <sub>n</sub> )	NPV	IRR
0	(Rp 147,982,998.9)	(Rp 147,982,998.9)	0	(Rp 147,982,998.90)	
1		Rp 91,792,920.95	0.9009009	(Rp 65,286,673.72)	
2		Rp 91,792,920.95	1.7125233	Rp 9,214,520.13	
3		Rp 91,792,920.95	2.4437147	Rp 76,332,712.79	
4		Rp 91,792,920.95	3.1024457	Rp 136,799,553.02	
5		Rp 91,792,920.95	3.695897	Rp 191,274,183.86	19%

Berdasarkan Tabel 3-4 ini didapat nilai NPV sebesar Rp.191.274.183,86 dan nilai IRR sebesar 19%. Dan untuk *Payback period* dapat dihitung dengan membandingkan nilai investasi dengan keuntungan yang didapat setelah dapat potongan pajak per tahun (ATCF), berikut rinciannya.

Parameter	Nilai	Satuan
Total Investasi	Rp 147,982,998.90	Rp.
ATCF	Rp 91,792,920.95	Rp./tahun
<i>Simple Payback Period</i>	1.61	tahun

Dalam waktu 1,61 tahun atau setara dengan 1 tahun 7 bulan, modal investasi akan tertutup, dan setelah waktu itu terlewat keuntungan akan terus meningkat hingga 5 tahun kedepan.

### 4. KESIMPULAN

1. Sistem pendingin air dapat beroperasi lebih optimal dibandingkan sebelumnya dengan memindahkan posisi peletakkan komponen *mixer* pada masukan HE1. Berdasarkan analisis didapat nilai Kp 0,3; Ti 40 s; Td 10 s untuk TIC-105 dan Kp 1,3125; Ti 66,6 s untuk FIC-101.
2. Pemindahan posisi *mixer* pada sistem pendingin air memiliki pengaruh terhadap efektifitas dari *heat exchanger*. HE1 mengalami kenaikan efektifitas dari kondisi eksistingnya 0,47 menjadi 0,53 dan untuk HE2 mengalami kenaikan efektifitas dari 0,65 menjadi 0,71.
3. Proyek ini memiliki nilai perhitungan ekonomi dengan NPV sebesar Rp.191.274.183,86.; *Simple Payback Period* selama 1,61 tahun atau 1 tahun 7 bulan; dan nilai IRR sebesar 19%. Dikarenakan NPV>0, SPP<5 thn, dan IRR>MARR, maka proyek ini layak untuk dilakukan.
4. Setelah perancangan sistem kendali ini, sistem pendingin air WFI dapat terjaga keluaran nya pada 23-26°C (*setpoint*). Sehingga dari total kegagalan produksi sebesar 20% dapat diredam 6%, maka kegagalan produksi menjadi 14% dari total kapasitas produksi seharusnya.
5. Saran untuk meningkatkan efektifitas HE1 agar dapat mencapai nilai standar minimalnya, diperlukan perancangan geometri HE itu sendiri

untuk menambah jumlah pipa, memperbesar diameter, mangganti jenis *baffle* atau dapat juga dengan mengganti air pendinginnya, dari air sumur menjadi air *refrigerant*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Sanbe Farma yang telah berbagi informasi untuk studi kasus ini. Selain itu terimakasih juga kepada Hidayat, Rahmat yang telah memberikan inspirasi dalam penulisan makalah untuk melanjutkan penelitiannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, M. (2004). Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1-8.
- [2] Anggraini, Ekadewi. 2000. Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas *Shell&Tube Heat Exchanger*. *Jurnal Teknik Mesin* vol.2. Hal.88-90.
- [3] D. Sushmitha, Pramod Kumar. (2014). A Review on Simulation of Heat Exchanger Using Aspen Plus Software. *Journal of Emerging Trends in engineering and Development*, vol.2, hal 357-361.
- [4] Energy, E. (2016). *Energy Research Institute*. University of Cspe Town.
- [5] Eslam Ezzat Ismail, R. Abdel. 2015. Improving the Performance of Heat Exchanger System by Better Control Circuit. *Journal of Computer Applications*.
- [6] Heriyanto, I. M. (2010). *Pengendalian Proses*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [7] Hidayat, R. (2020). *Rancangan Kendali PID Sistem Pendingin Air untuk Memenuhi Reliabilitas pada WFI Generator (Di PT. Sanbe)*. Politeknik Negeri Bandung: Jurusan Teknik Konversi Energi.
- [8] Janaun, NH Kamin, KH Wong. (2016). Design and Simulation of Heat Exchanger using Aspen Hysys, and Aspen exchanger design and rating for Paddy Drying Application. *IOP Conf. earth and Environmental Science*, hal 36.
- [9] Kern, D. (1950). *Process Heat Transfer*. New York: International Student Edition, McGraw Hill Kogakusha, Ltd.
- [10] Keuangan, O. J. (2021, Mei 31). [www.ojk.go.id](https://www.ojk.go.id). Retrieved from <https://www.ojk.go.id/id/kanal/perbankan/Pages/Suku-Bunga-Dasar.aspx>
- [11] Mulyani, D. (2019). *Perancangan Cold Preheater Train Tipe Spiral Plate Heat Exchanger Pada Proses Desalter Minyak Bumi*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [12] Rochman, L. F. (2020). *Peningkatan Kinerja Pendingin Pada Water Treatment Plant di PT. SANBE FARMA Melalui Rancangan Shell And Tube Exchanger*. Politeknik Negeri Bandung: Jurusan Teknik Konservasi Energi.
- [13] Soave, N., & Barolo, M. (2021). On the Effectiveness of Heat Exchanger Bypass Control. *Processes*, 244.
- [14] Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2015). *Engineering Economy*. London: Pearson.