

Perancangan Variasi Bentuk Filler pada Menara Pendingin Tipe Induced Draft Counterflow di PT Indolakto – Jakarta

Muhammad Idjlal Fikri¹, Sri Wuryanti² dan Annisa Syafitri³

¹ Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung 40012

email: idjalf@gmail.com

² Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung 40012

email: sri.wuryanti@polban.ac.id

³ Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung 40012

email: annisa.syafitrik@polban.ac.id

ABSTRAK

Cooling Tower adalah suatu alat penukar panas yang berfungsi untuk mendinginkan air panas ke lingkungan pada proses pasteurisasi yang digunakan untuk mendinginkan susu. Proses pendinginan air sangat bergantung pada *filler* atau material pengisi dari *Cooling Tower*. *Filler* atau material pengisi *Cooling Tower* adalah tempat terjadinya pertukaran panas antara air dengan udara. *Filler* sangat berpengaruh terhadap kinerja dari *Cooling Tower* itu sendiri. Permasalahan yang dialami oleh *Cooling Tower* itu adalah terjadinya pengendapan dan pertumbuhan mikroorganisme yang diakibatkan karena umur dari *Cooling Tower* itu sendiri sudah 10 tahun. Kalau pengendapan dibiarkan terus menerus mengakibatkan terhalangnya laju perpindahan panas dan stress material, hal ini bisa menyebabkan penurunan kinerja *Cooling Tower*. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain rancangan bentuk *filler* yang tepat untuk meningkatkan efektivitas menggunakan metode perhitungan menggunakan teori merkel dan simulasi, yakni dengan menghitung efektifitas perpindahan panas pada *Cooling Tower* menggunakan metode NTU (*Number of Transfer Unit*). Perancangan bentuk *filler* dari *Cooling Tower* berhasil meningkatkan efektifitas dari kondisi eksisting 43.75% menjadi 61.23% dengan menggunakan *filler* jenis *film fill* dengan tipe D. Peningkatan efektifitas tersebut membuat temperatur air keluar dari *Cooling Tower* menurun menjadi 31°C. Perancangan bentuk *filler* berhasil menghasilkan penghematan konsumsi energi menjadi 7714.8 kWh/bulan dengan penghematan biaya operasi Rp 11,145,571.56 perbulan.

Kata Kunci

Cooling Tower, Filler, Perpindahan panas.

1. PENDAHULUAN

Perusahaan Perseroan Terbatas (PT) Indolakto - Jakarta, adalah produsen susu terbesar di Indonesia. Proses pasteurisasi adalah suatu proses pemanasan menggunakan temperatur 126°C selama 30 detik. Pasteurisasi dilanjutkan dengan proses pendinginan dengan target temperatur pendinginan sekitar 4°C. Proses pendinginan berlangsung sebanyak 2 kali. Proses pendinginan pertama mendinginkan susu dari temperatur susu 125°C menggunakan air *Cooling Tower*. Proses pendinginan kedua adalah menggunakan *ice water* yang diproduksi dari *chiller* hingga mencapai 4°C.

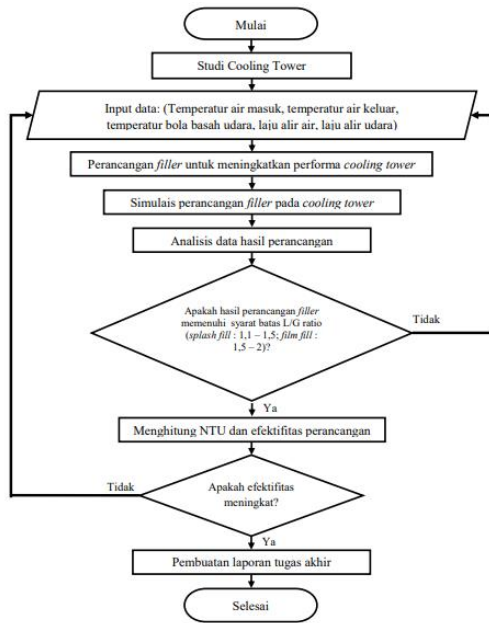
Cooling Tower sendiri adalah sebuah alat penukar kalor khusus dua fluida (air dan udara) yang dikontakan secara langsung antara keduanya untuk memindahkan panas dari air ke atmosfer. Usia

pemakaian *Cooling Tower* di PT Indolakto – Jakarta terbilang cukup lama dan pada *Cooling Tower* membuat *Cooling Tower* yang digunakan pada proses ini mengalami penurunan performa dari 62.5% (standar desain) menjadi 43.75%. Penurunan dari kinerja tersebut diakibatkan salah satunya karena terjadinya pengerakan dan pengendapan akibat pertumbuhan mikroorganisme.

Dua faktor yang menentukan laju perpindahan kalor dari air panas ke udara sebagai media pendingin adalah waktu kontak dan luas permukaan antar fase (air dan udara). Dengan memberikan bahan pengisi atau *filler* pada *Cooling Tower*, maka kedua faktor di atas dapat diperbesar. *Filler* ini berfungsi sebagai pemecah butiran air dan memperlambat gerak jatuh air sehingga waktu kontak antar fluida lebih lama serta luas bidang kontak juga semakin besar. Menurut

Novianarenti (Novianarenti and Setyono) dengan mengganti bentuk *filler* pada *Cooling Tower* dapat meningkatkan performansi dari *Cooling Tower* itu sendiri, karena perbedaan dari masing – masing bentuk *filler* akan berpengaruh terhadap *heat reject* atau pelepasan panas. Bentuk dari *filler* akan mempengaruhi terhadap luas kontak air dengan udara dan kecepatan aliran udara sehingga dengan memodifikasi bentuk *filler* maka dapat meningkatkan pelepasan panas dari air ke udara.

2. METODE



Gambar 1. Diagram alir proses perancangan

Diagram alir diatas merupakan alur perancangan untuk melakukan perancangan bentuk *filler* pada *Cooling Tower* yang digunakan untuk memproduksi air dingin pada proses pendinginan proses pasteurisasi susu.

2.1 Data Eksisting

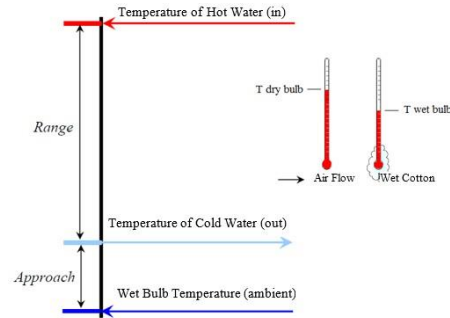
Data eksisting meliputi data kondisi operasi yang diperoleh dari pengambilan data di PT Indolakto – Jakarta. Data eksisting dari *Cooling Tower* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data kondisi eksisting

Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur air masuk (T_{in})	36	°C
Temperatur air keluar (T_{out})	32.5	°C
Temperatur Bola Basah (T_{wb})	28	°C
Tekanan (P)	60	Psi
Laju alir volume air (\dot{v}_a)	6	m ³ /jam
Laju alir volume udara (\dot{v}_u)	100	m ³ /menit

2.2 Perhitungan Kinerja Eksisting *Cooling Tower*

Kinerja dari *Cooling Tower* dapat dievaluasi dengan cara mengkaji tingkat *range* dan *approach* saat ini terhadap nilai desain, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi, dan memberikan saran perbaikan. Faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja dari *Cooling Tower* adalah kapasitas pendinginan, beban panas, *range*, temperatur bola basah (*wet bulb temperature*), dan *approach*.



Gambar 2. Range dan Approach Temperatur pada *Cooling Tower*

Range

Range adalah perbedaan antara temperatur air panas masuk (T_{in}) dan temperatur air dingin keluar (T_{out}) dari *Cooling Tower*.

$$Range (^{\circ}C) = T_{in} - T_{out} \dots\dots\dots (2.1)$$

Approach

Approach adalah selisih antara temperatur air dingin keluar (T_{out}) dengan temperatur bola basah lingkungan atau *wet bulb ambient temperature* (T_{wb}).

$$Approach (^{\circ}C) = T_{out} - T_{wb} \dots\dots\dots (2.2)$$

Efektivitas

Efektivitas *Cooling Tower* merupakan perbandingan antara *range* dan *approach* ideal (dalam persentase).

$$Efektivitas = \frac{Range}{Range + Approach} \times 100\% \dots\dots (2.3)$$

Kapasitas pendinginan (*cooling load*)

Kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang oleh *Cooling Tower* ke lingkungan dalam satuan kJ/jam, sebagai hasil dari kecepatan aliran massa air, panas spesifik, dan perbedaan temperatur. Kapasitas pendingin dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2.4)$$

Liquid / Gas Ratio

Perbandingan L/G dari *Cooling Tower* merupakan perbandingan antara laju alir massa air masuk (\dot{m}) dengan laju alir udara masuk (\dot{m}_{udara}). Pada umumnya *Cooling Tower* memiliki nilai L/G desain tertentu, namun variasi yang terjadi akibat perubahan

musim atau cuaca akan mengubah kondisi laju aliran air dan udara untuk mendapatkan efektifitas *Cooling Tower*.

$$\frac{L}{G} = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{udara}} \text{ atau } \frac{L}{G} = \frac{h_{water\ in} - h_{water\ out}}{T_{water\ in} - T_{water\ out}} \dots\dots (2.5)$$

Kehilangan air akibat evaporation loss (W_e)

Evaporation loss disebabkan karena adanya perpindahan panas secara tiba-tiba. Nilai W_e dapat dihitung dengan menggunakan rumus didapatkan dari (Pell and Dunson):

$$W_e = 0.00085 \times \dot{v} \times \Delta T \dots\dots\dots (2.6)$$

Kehilangan air akibat drift loss (W_d)

Drift loss adalah kehilangan air yang disebabkan karena partikel air terbawa ke oleh udara keluar dari *Cooling Tower*, biasanya berkisar sekitar 0.1 – 0.2 persen. *Drift loss* dapat diperkecil jumlahnya dengan cara memasang *drift eliminators* pada *Cooling Tower* yang belum memilikinya atau dilakukan modifikasi pada bentuknya hingga *drift loss* bisa kurang dari 0.1%.

$$W_d = \text{persentase drift loss} \times \dot{v} \dots\dots\dots (2.7)$$

Kehilangan air akibat blowdown (W_b)

Blowdown adalah membuang sebagian dari air sirkulasi terkonsentrasi karena proses penguapan untuk menurunkan konsentrasi padatan sistem. Jumlah *blowdown* dapat dihitung menurut jumlah siklus konsentrasi yang diperlukan untuk membatasi pembentukan kerak. Siklus konsentrasi adalah rasio padatan terlarut dalam mensirkulasikan air ke padatan terlarut dalam air rias.

$$W_b = \frac{\dot{v}}{s-1} \dots\dots\dots (2.8)$$

Water makeup (W_m)

Water makeup adalah jumlah laju aliran air yang harus ditambahkan (biasanya pada *basin*) karena terjadinya kehilangan air selama proses pendinginan pada *Cooling Tower*. Rumus dari *water makeup* dapat dihitung dengan cara :

$$W_m = W_e + W_d + W_b \dots\dots\dots (2.9)$$

2.3 Perancangan Filler

Perancangan *filler* pada *Cooling Tower* tipe *induced draft* tipe aliran *counter flow* terdiri dari beberapa tahapan diantaranya sebagai berikut :

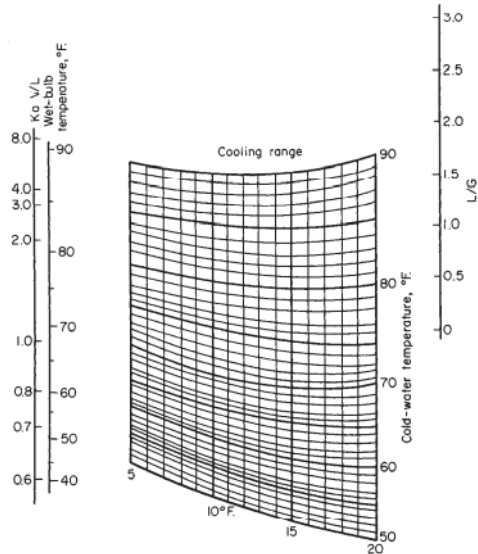
Kapasitas Cooling Tower

Kapasitas *Cooling Tower* adalah kemampuan untuk melepas panas ke lingkungan yang diharapkan dari rancangan *Cooling Tower*. Untuk mengetahui kapasitas dari *Cooling Tower* menentukan nilai dari temperatur air masuk, temperatur air keluar, dan mengetahui temperatur bola basah lingkungan.

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2.10)$$

Liquid and Gas ratio (L/G)

Nilai L/G ratio dapat diketahui menggunakan diagram karakteristik pendinginan (gambar II.16). Untuk mendapatkan nilai L/G ratio dapat dilakukan dengan menghubungkan *range*, temperatur air dingin, dan temperatur bola basah.



Gambar 3. Diagram karakteristik Cooling Tower

Karakteristik Cooling Tower

Karakteristik dari *Cooling Tower* disimbolkan dengan $(\frac{KaV}{L})$ dimana K = koefisien perpindahan panas air, a = area kontak dibagi volume menara, V = *active cooling volume*, dan L adalah laju alir air. Rumus untuk karakteristik *Cooling Tower* adalah :

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_{out}}^{T_{in}} \frac{dT}{h' - h} \dots\dots\dots (2.11)$$

Kecepatan aliran massa air dan udara

Kecepatan aliran massa air dan udara adalah nilai dari jumlah massa air atau udara yang melewati *Cooling Tower* selama satu detik tiap 1 m².

$$G_w = \frac{m_w}{A \times 3600} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$G_a = \frac{m_a}{A \times 3600} \dots\dots\dots (2.13)$$

Perancangan bentuk dan jenis filler

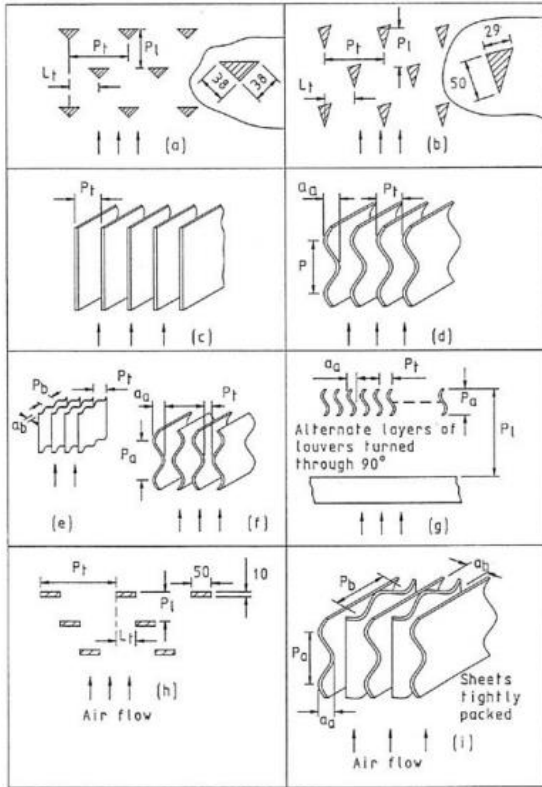
Filler adalah bahan material pengisi *Cooling Tower* dan sebagai tempat perpindahan panas antara air dan udara. Perancangan dimensi dan bentuk *filler* mengambil referensi dari (Cleary) menggunakan teori merkel.

$$N_{fll} = \frac{KaV - 0.07}{a_d \times (L/G)^{b_d}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

N_{fill} : Jumlah *fill* dibutuhkan

a_d ; b_d : *mass transfer coefficient fill*



Gambar 4. Variasi bentuk filler (a) (b) splash fill, (c) (d) (e) (f) dan (i) film fill

Menghitung koefisien perpindahan pada bagian *filler* menggunakan rumus *mass transfer* dari tabel II.2 dan II.3 dengan menggunakan *mass transfer coefficient* dari tap masing – masing bentuk dan ukuran *fill*.

$$h_d = \frac{a_d \times G_w^{1-b_d}}{a_{fi}/G_a^{b_d}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Perhitungan efektifitas menggunakan metode NTU

Hasil dari perancangan dihitung efektifitasnya menggunakan metode NTU (*Number of Transfer Unit*).

$$C_e = \frac{c_{emin}}{c_{emax}} = \frac{m_w \times C_p w}{m_a \times C_p a} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$NTU = \frac{h_d \times A}{c_{emin}} \dots \dots \dots (2.17)$$

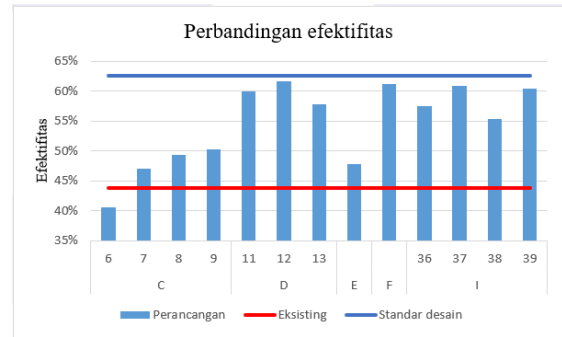
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_e)]}{1 - C_e \exp[-NTU(1 - C_e)]} \dots \dots \dots (2.18)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil perancangan tersebut menghasilkan nilai *L/G ratio* sebesar 1.5 dimana bentuk *fill* yang dapat dipakai adalah bentuk *film fill*. Bentuk *film fill* yang akan dirancang bentuk C, D, E, F, dan I pada gambar II.10 dan ukuran berdasarkan tabel II.2. Pada perancangan kali ini diharapkan pergantian bentuk *filler* dapat menurunkan temperatur keluar air menjadi 31°C supaya daya yang dibutuhkan *chiller* untuk mendinginkan susu tidak terlalu besar. Kapasitas pendinginan *Cooling Tower* hasil perancangan bentuk *filler* didapatkan sebesar 1.26×10^5 kJ/jam. Kapasitas pendinginan tersebut meningkat dari kondisi eksistingnya dimana kapasitas pendinginannya hanya sebesar 8.82×10^4 kJ/jam. Hasil lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 2.

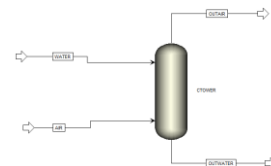
Tabel 2. Hasil Perancangan

Parameter	Nilai	Satuan
Temperatur air masuk	36	°C
Temperatur air keluar	31	°C
Temperatur <i>wet bulb</i> udara	28	°C
<i>Cooling load</i>	1.260×10^5	KJ/h
L/G	1.5	



Gambar 5. Grafik Perbandingan Efektifitas

Bentuk *filler* selain bentuk D yang memiliki efektifitas baik adalah bentuk F dan bentuk I. Kedua bentuk *filler* tersebut memiliki efektifitas lebih dari 60% dan hampir mendekati standar desain dari efektifitas *Cooling Tower*. Dengan begitu terdapat tiga bentuk *filler* yang dapat direkomendasikan untuk dirancang secara teknis yaitu bentuk D, F, dan I.



	Units	AIR	OUTAIR	OUTWATER	WATER	
1	Phase	Vapor Phase	Vapor Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	
2	Temperature	C	28	34.0935	31.0912	36
3	Pressure	bar	1.01325	1	1	4.13685
4	Enthalpy Flow	cal/sec	261.656	-32303.3	-6.26453e+06	-6.29770e+06

Gambar 6. Hasil Simulasi Menggunakan Aspen Plus

Tabel 3. Perbandingan Perhitungan Dengan Simulasi

Parameter	Perhitungan	Simulasi	Satuan	Selisih
Temperatur air masuk	36	36	°C	-
Temperatur air keluar	31	31.091	°C	0.2%
Temperatur <i>wet bulb</i> udara	28	28	°C	-
Cooling load	1.260×10^5	1.361×10^5	KJ/h	7%

Hasil perbandingan perhitungan teoritis dengan simulasi terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan hasil tersebut karena adanya kemungkinan perbedaan ketelitian pada perhitungan menggunakan *software* Aspen plus. Pada tabel dapat terlihat bahwa perbedaan antara perhitungan teoritis dengan *software* Aspen plus tidak sampai 10% yang mana menandakan bahwa hasil perhitungan dan *software* masih dikatakan wajar.

Tabel 4. Perbandingan Perancangan Dengan Eksisting

Parameter	Eksisting	Perancangan	Satuan
Suhu air keluar	32.5	31	°C
Efektifitas	43.75%	61.63%	
Cooling load	8.820×10^4	1.260×10^5	kJ/hr
L/G ratio	0.870	1.5	
Laju alir volume udara	100	57.991	m ³ /min

Target dari perancangan *Cooling Tower* sudah tercapai yaitu temperatur air keluar dari *Cooling Tower* adalah 31°C dimana kondisi eksistingnya adalah 32.5°C. Mengganti bentuk *filler* juga meningkatkan *Cooling load* dari *Cooling Tower* tersebut dimana besar *Cooling load* eksisting sebesar 8.820×10^4 kJ/hr menjadi 1.260×10^5 kJ/hr atau dapat dikatakan bahwa *filler* hasil perancangan dapat melepaskan panas lebih baik bila dibandingkan *filler* pada kondisi eksisting. Hal ini karena pada *filler* hasil perancangan waktu air untuk jatuh kebawah lebih lama dan menghasilkan kontak dengan udara yang lebih lama juga.

Tujuan dari perancangan bentuk *filler* pada *Cooling Tower* kali ini adalah untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi beban dari *chiller* untuk mendinginkan susu pada proses pasteurisasi. Perancangan bentuk *filler* yang dilakukan berhasil menurunkan temperatur air keluar *Cooling Tower* sebesar 31°C sehingga air dapat mendinginkan susu lebih baik. Semakin besar kalor atau panas yang dapat dilepaskan oleh *Cooling Tower* maka panas yang dimiliki oleh air akan semakin sedikit, sehingga

saat air digunakan untuk mendinginkan susu air dapat menyerap panas semakin banyak.

Tabel 5. Tabel Penghematan Energi Hasil Perancangan

Parameter	Nilai	Satuan
Daya <i>fan</i> CT eksiting	0.313	kw
Daya <i>fan</i> CT sesudah perancangan	0.185	kw
Daya <i>chiller</i> eksiting	670.3	kw
Daya <i>chiller</i> setelah perancangan	659.7	kw
<i>Power saving</i>	10.715	kw
<i>Energy saving per month</i>	7714.8	kwh/month

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa terdapat penghematan pada *fan* yang digunakan pada *Cooling Tower*. Hal ini karena meningkatnya nilai L/G *ratio* yang membuat kebutuhan udara untuk mendinginkan air menjadi berkurang sehingga daya yang dibutuhkan oleh *fan* menjadi berkurang.

Tabel 6. Penghematan Biaya Hasil Perancangan

Keterangan	Nilai	Satuan
Tarif listrik	Rp 1,444.70	/ kWh
<i>Energy saving per month</i>	7714.8	kWh / bulan
<i>Cost saving per month</i>	Rp 11,145,571.56	/ bulan

Perhitungan *cost saving* dilakukan dengan menghitung penghematan konsumsi energi listrik pada *fan* yang ada pada *Cooling Tower* dan *chiller*. Berdasarkan data yang didapat bahwa tarif listrik perKWH dari PLN untuk sektor industri sebesar Rp 1,444.70/kWh. Dengan begitu hasil dari mengganti bentuk *filler* akan menghasilkan penghematan biaya atau *cost saving* sebesar Rp 11,145,571.56 per bulannya.

Tabel 7. Payback Period dan NPV dari Filler D, F, dan I

Keterangan	D	F	I
<i>Payback Period</i>	5.21	5.19	5.26
<i>Net Present Value</i>	Rp 1,136,438,186.56	Rp 1,141,051,015.84	Rp 1,127,430,736.63

Kelayakan perancangan pergantian *filler* juga diamati menggunakan *Net Present Value* (NPV). NPV sendiri berarti perkiraan nilai investasi berdasarkan uang kas masuk yang diharapkan pada masa depan dan arus kas yang keluar disesuaikan dengan nilai suku bunga minimum dan harga pembelian awal. Pada hasil perhitungan keekonomian nilai NPV dari perancangan bentuk *filler* pada *Cooling Tower* bernilai positif pada semua bentuk *filler* yang berarti perancangan layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai NPV lebih besar dari nol atau bernilai positif.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan bentuk *filler* pada *Cooling Tower* yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan bentuk *filler* berhasil meningkatkan *range* menjadi 5°C dan menurunkan *approach* menjadi 3°C. Nilai NTU dan efektifitas terbaik didapatkan pada jenis *filler* D nomor 12 dimana NTU sebesar 1.105 dan efektifitas sebesar 61.63% sedangkan efektifitas terendah didapatkan pada *filler* C nomor 6 sebesar 40.67%. Efektifitas berdasarkan perhitungan *range – approach* hasil perancangan *filler* didapat sebesar 62.5%.
2. Hasil perancangan pergantian bentuk *filler* berhasil meningkatkan efektifitas tertinggi hingga 17.88% pada bentuk *filler* D 12.
3. Berdasarkan analisis keekonomian *filler* F memiliki nilai NPV tertinggi yaitu sebesar Rp 1,141,051,015.84 dengan *payback period* selama 5.19 bulan. Sedangkan untuk *filler* D memiliki nilai NPV Rp 1,136,438,186.56 dengan *payback period* selama 5.21 bulan. Pada bentuk *filler* I NPV sebesar Rp 1,127,430,736.63 dan *payback period* selama 5.26 bulan.
4. Rekomendasi bentuk *filler* yang terbaik berdasarkan segi teknis dan aspek keekonomian adalah bentuk F karena memiliki nilai *Payback period* dan NPV yang lebih baik dibanding *filler* D meskipun bentuk D memiliki efektifitas tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Novianarenti, Eky, and Gatot Setyono. "Peningkatan Performansi Cooling Tower Tipe Induced Draft Counter Flow Menggunakan Variasi Bentuk Filler." *R.E.M (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, vol. 4, no. 1, 2019, doi:10.21070/r.e.m.v4i1.1766.
- [2] Handoyo, Yopi. "Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi." *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, 2015, pp. 38–52, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>.
- [3] Pell, Mel, and James B. Dunson. "Chapter 17: Gas-Solid Operations and Equipment." *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 1997.
- [4] Coker, A. Kayode. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants: Distillation,*

Packed Towers, Petroleum Fractionation, Gas Processing and Dehydration. 2010,

- [5] Firman, LA Ode M., and M. Galih Maulana. "Perencanaan Cooling Tower Induced Draft Untuk Mesin Pendingin Kapasitas 450 Tr Dengan Debit Kondensor 414 M³ / Jam Dan Range Pendinginan 5 . 3 ° C ." *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ*, vol. 3, no. 1, 2007, pp. 40–46.
- [6] Cleary, Michelle. "Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers: Thermal-Flow Performance Evaluation and Design: Vol2." *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, 2019.
- [7] Sulis Yulianto, Aan Urbiantoro. "Perancangan Cooling Tower Untuk Alat Penukar Kalor Shell and Tube Kapasitas Skala Laboratorium." *Sintek*, vol. 7, no. 1, 2013, pp. 1–11.
- [8] *Bureau of Energy Efficiency India - Energy Efficiency in Electrical Utilities. 1-Bureau of Energy Efficiency India (2015).pdf*. (n.d.).
- [9] Hammer, E. W. "Process Heat Transfer." *Journal of the Franklin Institute*, vol. 250, no. 5, 1950, pp. 462–63, doi:10.1016/0016-0032(50)90609-0.