

Penambahan *Heat Exchanger* Untuk Recovery Steam Pada Venting 2-E-006 Untuk Dijadikan Kondensat

Nita Novelasari^{1*}, Muhammad Fahmi Hakim², Miftah Hifzhuddin³, Rama Ali Fathin⁴

^{1*,2}Universitas Singaperbangsa Karawang

³Universitas Brawijaya

⁴Institut Teknologi International Bandung

*Email: 2010631230065@student.unsika.ac.id

Abstract

PT. Multi Nitrotama Kimia (MNK) is a leading provider of mining explosives and blasting services in Indonesia, producing nitric acid and ammonium nitrate. In the production process, excess steam generated by the wet heat boiler is vented into atmosphere. This study aims to recover the thermal energy from the vented steam by adding a Shell and Tube Heat Exchanger is utilized with a cross-flow configuration, where steam flows through the shell side and cooling water through the tube side. The exchanger is designed with a shell diameter of 406.4 mm (16 inches) and tube outer diameter of 19.05 mm (¾ inch) following IPS (Iron Pipe Size) standards and BWG 16 wall thickness. The unit consists of 90 tubes, each 2 meters long, arranged in a triangular pitch layout to optimize heat transfer area. Tubes are made of stainless steel to ensure corrosion resistance. The effective heat transfer area is calculated to be 27.05 m². The system produces condensate at 99.59°C with a flow rate of 1087.26 kg/h and achieves energy savings up to Rp945,529,832 annually.

Keywords: Heat Exchanger, Shell and Tube, Condensate, Cross-Flow, Energy Savings

Abstrak

PT. Multi Nitrotama Kimia (MNK) merupakan perusahaan penyedia bahan peledak pertambangan dan jasa peledakan terkemuka di Indonesia yang memproduksi asam nitrat dan ammonium nitrat. Dalam proses produksinya, steam berlebih yang dihasilkan dari wet heat boiler dilepaskan ke atmosfer melalui sistem venting. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan energi dari steam tersebut melalui penambahan alat penukar panas (heat exchanger) tipe Shell and Tube digunakan dengan konfigurasi aliran *cross-flow*, di mana fluida steam mengalir pada sisi shell dan cooling water mengalir dalam tube. Alat ini dirancang dengan diameter shell sebesar 406,4 mm (16 inci) dan diameter luar tube sebesar 19,05 mm (¾ inci) sesuai standar IPS (Iron Pipe Size) dan ketebalan BWG 16. Jumlah tube sebanyak 90 buah dengan panjang tube masing-masing 2 meter, disusun dalam pola segitiga (triangular pitch) untuk memaksimalkan luas perpindahan panas. Material tube menggunakan stainless steel untuk ketahanan terhadap korosi. Luas area perpindahan panas yang dihitung dari konfigurasi tersebut mencapai 27,05 m². Sistem ini menghasilkan kondensat bersuhu 99,59°C dengan laju alir 1087,26 kg/jam serta potensi penghematan energi sebesar Rp945.529.832,-/tahun.

Kata kunci: Heat exchanger, shell dan tube, kondensat, *cross-flow*, penghematan energi

1. Pendahuluan

PT. Multi Nitrotama Kimia (MNK) merupakan perusahaan penyedia bahan peledak pertambangan dan jasa peledak terkemuka di Indonesia. PT MNK sudah menghasilkan produk asam nitrat dan ammonium nitrat lebih dari 20 tahun. MNK telah memproduksi asam nitrat dan ammonium nitrat melalui dua fasilitas produksi: Plant-1 (160 ton/hari asam nitrat dan 330 ton/hari ammonium nitrat) [1]. Asam nitrat diproduksi dengan menggunakan teknologi *Chemico* (AS), sedangkan ammonium nitrat menggunakan teknologi *Kaltenbech Thuring* (Prancis) yang akan menghasilkan ammonium nitrat dalam bentuk prill. Produk akhir pada PT. MNK yaitu meliputi ammonium nitrat murni (*Chemical Pure Ammonium Nitrat/CPAN*), ammonium nitrat densitas rendah (*Low Density Ammonium Nitrate/LDAN*), ammonium nitrat *Fuel Oil* (ANFO) dan emulsi [2].

Heat Exchanger adalah alat yang difungsikan untuk menghantar energi panas dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, antara partikel padat dengan fluida, dengan perbedaan temperatur. Dalam proses *heat exchanger* tidak ada penambahan *external heat* (*heater*). Dalam proses industri, *heat exchanger* adalah sebagai *recover or reject heat*, sterilisasi, *pasteurize*, fraksinasi, *distill*, *concentrate*, *crystallize*, dan kendali proses fluida [3]. Pada beberapa *heat exchanger*, proses pertukaran panas terjadi secara tak langsung dikarenakan terpisah antara fluida satu (*tube side*) dengan yang lainnya (*shell side*). Macam-macam dari *heat exchanger* adalah *shell and tube*, *double pipe heat exchanger*, *plate and frame heat exchanger* dan *spiral heat exchanger*. *Shell and tube heat exchanger* adalah satu tipe *heat exchanger* yang paling banyak digunakan berbagai industri, terdiri dari sebuah *shell cylinder* dibagian luar dan dalam, temperatur fluida didalam *tube* berbeda dengan diluar *tube* (didalam *shell*), sehingga terjadi perpindahan panas aliran fluida didalam *tube* dan diluar *tube* (didalam *shell*). Adapun daerah didalam *tube* disebut *tube side* dan daerah didalam *shell* disebut *shell side* [4].

Dari semua tipe alat penukar panas, *shell & tube* memiliki sejumlah keunggulan diantaranya: memberikan luas permukaan atau penampang perpindahan panas yang besar dengan volume yang kecil, mampu dioperasikan pada tekanan tinggi 20, dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau material, mudah dalam melakukan maintenance atau perawatan, serta memiliki prosedut thermal dan mechanical design yang baik.

Kondensasi atau pengembunan adalah perubahan wujud benda ke wujud yang lebih padat, seperti gas menjadi cairan. Kondensasi terjadi ketika uap didinginkan menjadi cairan, tetapi dapat juga terjadi bila sebuah uap dikompresi menjadi cairan, atau mengalami kombinasi dari pendinginan dan kompresi [5].

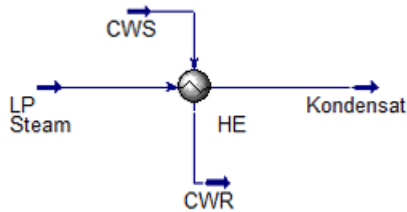
Keterbaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan sistem *heat recovery* secara langsung pada venting unit 2-E-006 di PT. Multi Nitrotama Kimia untuk menghasilkan kondensat bernilai guna. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada simulasi efisiensi alat, studi ini memfokuskan pada penghematan energi aktual dengan pendekatan design termal berbasis data operasi pabrik dan validasi menggunakan *Aspen Hysys* [6][7].

Steam atau uap yang dihasilkan dari *wet heat boiler* merupakan hasil dari pemanasan *heat train* pada proses pembuatan *nitric acid*, uap hasil pemanasan tersebut akan keluar melalui *venting* yang nantinya pada penelitian ini akan dilakukan *recovery* dari steam menjadi kondensat dengan proses kondensasi, steam hasil dari pemanasan ini dapat menghasilkan penghematan energi yang akan menguntungkan bagi perusahaan. *Heat exchanger* yang akan dirancang yaitu menggunakan tipe *shell and tube* dengan aliran *crass-flow* [8], dimana input pada *shell* akan berupa steam dan input pada *tube* akan berupa air pendingin atau *cooling water* sebagai pendingin pada saat pengoperasiannya, sehingga akan menghasilkan output berupa

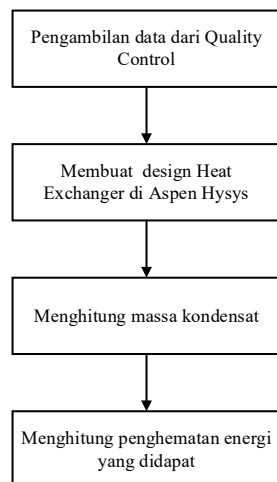
liquid kondensat dengan temperatur tertentu [9].

2. Metoda Penelitian

Data dan sumber data-data diperoleh dari *control room plant-2* dan simulasi *aspen hysys*, meliputi temperature, tekanan, serta laju alir steam dan cooling water. Langkah analisis dan simulasi langkah analisis dilakukan dengan perhitungan neraca energi, design alat menggunakan data aktual, serta validasi hasil dengan simulasi *Aspen Hysys*. Rancangan alat *Heat Exchanger* rancangan alat menggunakan tipe shell and tube dengan konfigurasi cross-flow, dimana water pada sisi tube.



Gambar 1. Skema *shell and tube heat exchanger*



Gambar 2. Diagram alir penelitian *recovery steam* menjadi kondensat

2.1. Pengumpulan Data

Data-data penelitian yang akan digunakan diperoleh dari *control room plant-2* tanggal 25 maret 2024 dan *aspen hysys*. Data yang diperoleh dari *control room* meliputi:

- Temperature dan pressure keluaran steam venting 2-E006

- Temperature cooling water supply
- Pressure cooling water return
- Laju alir steam
- Pressure kondensat

Sedangkan data dari *aspen hysys* meliputi:

Tabel 1. Data design HE dari *aspen hysys*

Data					
	satuan	LP steam	CWS	CWR	Kondensat
Vapour		1,00	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature	°C	145,0	34,00	37,01	99,59
Pressure	kPa	120,0	5,246	6,200	100,0
Molar flow	kgmol e/h	5,107	931,1	931,1	5,107
Mass flow	kg/h	92,00	16,770	16,770	92,00
Liquid volume flow	m³/h	0,09219	16,81	16,81	0,09219
Heat flow	kj/h	1,214,0	265,800,0	265,80	1,432,00
		00	0	0,000	0
Heat capacity	kJ/kgm ole-C	34,73	77,72	77,74	79,21

Keterangan:

CWS : *Cooling Water Supply*

CWR : *Cooling Water Return*

2.2. Cara Pengolahan Data

Data-data yang sudah ada akan digunakan untuk menghitung neraca panas pada *heat exchanger*, tahapan pengolahan data sebagai berikut:

- Menghitung efisiensi penghematan energi hasil dari *recovery steam* menjadi kondensat
- Menghitung Q lepas dan Q terima
- Menghitung laju alir massa (*mass flow*) kondensat
- Mendesign *heat exchanger* dengan inlet steam hasil dari keluaran venting 2-E-006 dan menghasilkan produk berupa kondensat

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Neraca Panas

Dari hasil Analisis dengan menggunakan *aspen hysys* maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil data dari *aspen hysys*

Uraian (<i>aspen</i>)	Nilai	Satuan
Suhu Keluar (T2)	99,59	°C

Koefisien perpindahan panas (U)	2565	kJ/C
Kapasitas panas (Cp)	34,74	kJ/kgmole.C
Beda temperatur (ΔT)	45,41	°C
Laju alir massa (m)	5,111111111	kmole/h

Maka akan di peroleh nilai neraca massa sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{\Delta T_{\text{steam}}} &= m_{\text{steam}} \times C_{p\text{steam}} \times \Delta T_{\text{steam}} \\
 Q &= Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}} \\
 &= 5,111111111 \text{ kmole/h} \times 34,74 \text{ kJ/kgmole.C} \times 45,51^\circ\text{C} \\
 &= 8060,678644 \text{ kJ/h} \\
 &= 2239,722111 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Untuk nilai pertukaran panas yang di dapatkan yaitu :

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= T_{\text{in Steam}} - T_{\text{out CW}} \\
 &= 145 - 37 = 108^\circ\text{C} \\
 \Delta T_2 &= T_{\text{out con}} - T_{\text{in CW}} \\
 &= 99,59 - 34 = 65,59^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{\text{(LMTD)}} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \\
 &= \frac{108 - 65,59}{\ln \frac{108}{65,59}} \\
 &= 85,0397458^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Luas area :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{U \times \Delta T_{\text{LMTD}}}{Q_{\text{steam}}} \\
 &= \frac{2565 \frac{\text{kJ}}{\text{C}} \times 85,0397458 \text{ C}}{8062,9996 \text{ kJ/h}} \\
 &= 27,05282882 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dan nilai kalor pada *cooling water*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{CW}} &= m_{\text{CW}} \times C_{p\text{CW}} \times \Delta T_{\text{CW}} \\
 Q_{\text{Lepas}} &= Q_{\text{Terima}} \\
 Q_{\text{CW}} &= 931,8365319 \text{ kmole/h} \times 77,72 \text{ kJ/kgmole.C} \times 3^\circ\text{C} \\
 &= 217267,0058 \text{ kJ/h} \\
 &= 60351,94606 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3.2. Perhitungan Laju Alir Massa Kondensat

Suhu masuk dan keluar kondensat, berpengaruh langsung pada efisiensi perpindahan panas dan volume massa kondensat yang terbentuk, sehingga perlu dikontrol dengan tepat untuk optimasi operasi kondensor dan pengendalian laju alir massa kondensat [10].

Data yang diperlukan untuk menghitung laju alir kondensat adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Data perhitungan massa kondensat

Kalor <i>cooling water</i>		217267,0058 kJ/h
Kapasitas kondensat	panas	79,21 kJ/kgmole-C
Temperatur kondensat	masuk	145°C
Temperatur kondensat	keluar	99,59°C

Maka laju alir massa kondensat yang di dapatkan yaitu :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{con}} &= \frac{Q_{\text{CW}}}{C_{p\text{con}} \times \Delta T_{\text{con}}} \\
 &= \frac{217267,0058 \text{ kJ/h}}{77,72 \frac{\text{kJ}}{\text{kgmole.C}} \times 3 \text{ C}} \\
 &= 60,40352227 \text{ kmole/h} \\
 &= 1087,263401 \text{ kg/h} \\
 &= 1,087263401 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Penambahan kondensor pada sistem uap dapat mengurangi kerugian energi akibat venting dan meningkatkan efisiensi penggunaan steam. Dengan mengembalikan kondensat ke sistem, perusahaan dapat memanfaatkan kembali energi yang sebelumnya terbuang [11].

3.3. Efisiensi Penghematan Energi

Menurut data harga yang tertera pada MNK, harga demin water per m^3 adalah Rp. 100.653/ m^3 . Untuk menghitung penghematan yang terjadi dalam waktu 1 tahun, maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Penghematan energi} &= \\
 &\text{laju alir massa kondensat} \times \text{harga demin} \\
 &= 109.436,-/\text{h}
 \end{aligned}$$

$$\text{Harga air demin} = \text{Rp. } 100,653/\text{m}^3$$

- Penghematan dalam perjam
 $\text{Harga air demin} \times \text{massa kondensat} = 100,653/\text{m}^3 \times 1,087263401 \text{ m}^3/\text{h} = \text{Rp. } 109.436/\text{jam}$
- Penghematan dalam sehari
 $109.436 \times 24 \text{ jam} = \text{Rp. } 2.626.472/\text{hari}$
- Penghematan dalam sebulan
 $2.626.472 \times 30 \text{ hari} = \text{Rp. } 78.794.153/\text{bulan}$
- Penghematan dalam setahun
 $78.794.153 \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp. } 945.529.832/\text{tahun}$

Maka, penghematan yang dapat terjadi dalam setahun jika steam yang terbuang ke atmosphere dirubah menjadi kondensat dengan bantuan heat exchanger adalah Rp. 945.529.832,-. Pada buku panduan oleh beny rosmawar purba dana hariyanto (2014), menjelaskan bahwa pengurangan konsumsi uap berbanding lurus dengan penurunan konsumsi bahan bakar hal ini berimplikasi langsung pada penghemat biaya operasional dan peningkatan profitabilitas perusahaan [12].

3.4. Spesifikasi Heat Exchanger

Setelah memasukan semua data yang di dapatkan pada *control room plant-2* dimasukan ke dalam *aspen hysys*, maka spesifikasi yang di dapatkan yaitu:

Tabel 4. Spesifikasi fluida pada heat exchanger

Fluida	Shell	Tube
	Stream	Cooling water
T in	145°C	34 °C
T out	99,59 °C	37,01 °C
Beda Temperatur	45,41 °C	3,01 °C
Laju aliran	92,00 kg/h	16773,0575745717 kg/h

Pada proses recovery steam menjadi kondensat pada penelitian ini menggunakan *heat exchanger* jenis *shell and tube* dimana proses laju alirnya bertipe *cross-flow*, dengan pertukaran panas yang terjadi secara kontinu dikarenakan masing-masing fluida mengalir secara terpisah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penambahan *Heat Exchanger* di venting *NA plant-2*, dengan improvement pemanfaatan steam venting 2-E-006 dapat menghasilkan 1087,263401 kg/h kondensat dengan temperature *output* 99,59°C. *Heat exchanger* yang digunakan adalah yang berjenis *shell and tube* dimana alir fluidanya menggunakan tipe *cross-flow*. Hasil penghematan dari kondensat hasil recovery adalah Rp. 945.529.832 /tahun.

5. Saran

Pemilihan jenis heat exchanger dapat dilakukan dengan mempertimbangkan proses yang akan dilakukan dan fluida yang digunakan. Dalam meminimalkan terjadinya korosi pada alat penukar panas jenis shell and tube, maka dapat dilakukan pemilihan material yang memiliki sifat tahan terhadap korosi seperti Carbon Steel SA 283 grade C.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat menggunakan metode optimisasi lain, sebagai perbandingan dan mampu mendapatkan nilai fungsi objektif yang lebih baik.

6. Daftar Pustaka

- [1] PT Multi Nitrotama Kimia, "PT Multi Nitrotama Kimia Provides Integrated Services on Explosives," *mnk.co.id*, [Online]. Available: <https://mnk.co.id/pt-multi-nitrotama-kimia-provides-integrated-services-on-explosives>.
- [2] R. A. P. Pratama, "Evaluasi Kinerja Prilling Tower PT. Multi Nitrotama Kimia," Skripsi, Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, 2019.
- [3] H. Asbanu, Y. Chan, D. Sugiyanto, dan H. Susanto, "Studi aplikasi heat transfer menggunakan sistem penukar panas tipe shell & tube di industri manufaktur," *J. Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 1, pp. 29–42, 2024.
- [4] M. Kakaç, H. Liu, *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*, CRC Press, 2020.
- [5] D. J. M. Rosado dan J. A. de Carvalho Jr, "Energy saving in the steam system and condensate recovery in the health industry,"

- 2018.
- [6] R. D. Prasetyo, T. Lestari, "Optimasi Sistem Heat Recovery pada Boiler Industri," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 10, no. 1, 2023.
- [7] S. N. Sari, "Analisis Kinerja Penukar Panas Shell and Tube untuk Sistem Pendinginan Industri," *Jurnal Mekanika*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [8] Exchanger Menggunakan Low-Finned Tube pada Refinery Unit," Skripsi, Dept. Teknik Mesin, Universitas Indonesia, 2018.
- [9] J. M. Coulson, J. F. Richardson, *Chemical Engineering: Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer*, 6th Ed., Butterworth-Heinemann, 2019.
- [10] A. Lutfiansyah dan A. F. Sudarma, "Analisis Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* dengan Fluida Kerja Air dan Hidrokarbon Menggunakan Metode Efektivitas-NTU," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 3, Oktober 2022.
- [11] A. Abdurrohman, "Analisis *Steam Balance* dan Mitigasi *Excess Steam* melalui Penambahan *Condenser* untuk Mengurangi *Low Pressure Steam Losses* di PT Badak NGL," Skripsi, Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, 2024.
- [12] E. R. Purba dan Hariyanto, "Buku Panduan Audit Energi di Industri: Sistem Distribusi Uap," *Bab 6 dalam Buku Pedoman Audit Energi Industri*, Badan Riset dan Inovasi Nasional, September 2015.