

RANCANG BANGUN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN SEMI-CIRCULAR PERFORATED BAFFLE DENGAN SEMI-CIRCULAR FINS PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER

Muhammad Afifani Romadhan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammad.18003@mhs.unesa.ac.id

I Made Arsana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Banyak jenis *heat exchanger* yang di rancang dan digunakan dalam industri pembangkit listrik, minyak dan gas, petrokimia dan lain sebagainya sebagai salah satu komponen dalam siklus kerja pada industri. *Double pipe heat exchanger* (DPHE) adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang umum dijumpai pada beberapa industri salah satunya sebagai *pre heater feed water* sebelum masuk ketel uap. *Semi-circular perforated baffle* (SCPB) adalah salah satu komponen tambahan pada *double pipe heat exchanger*. *Semi-circular perforated baffle* digunakan sebagai hambatan termal pada proses transfer energi kalor yang berfungsi untuk memberikan waktu kontak atau tinggal fluida kerja secara tidak langsung. Dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana cara mendesain dan membangun sebuah SSPB yang nantinya akan dilakukan tahapan pengujian dan pengambilan data lalu hasil dari pengambilan data tersebut akan diolah. Proses desain dan fabrikasi SSPB harus menggunakan bantuan *software* 3D CAD dan 2D CAD lalu pada tahapan fabrikasi harus menggunakan mesin CNC *microfiber* yang mampu memotong plat tembaga dengan ketebalan dibawah 1 mm tanpa mengakibatkan *melting*. Setelah dilakukan proses desain dan fabrikasi, didapatkan hasil peningkatan luas permukaan perpindahan kalor dari variasi sudut kemiringan 90°, 60°, dan 45° sebesar 0,21, 0,22, dan 0,25 m² dari variasi tanpa tambahan SCPB yaitu variasi *inner pipe* yang polos/original yaitu sebesar 0,11 m².

Kata Kunci: *heat exchanger*, *double pipe*, rancang bangun, *semi-circular perforated baffle*, luas area perpindahan kalor

Abstract

Many types of heat exchangers are designed and used in the power generation, oil and gas, petrochemical and other industries as one of the components in the work cycle in industry. Double pipe heat exchanger (DPHE) is a type of heat exchanger that is commonly found in several industries, one of which is as a pre heater feed water before entering the boiler. Semi-circular perforated baffle (SCPB) is one of the additional components in the double pipe heat exchanger. Semicircular perforated insulation is used as a thermal barrier in the heat energy transfer process which functions to provide contact or residence time of the working fluid indirectly. In this study, the focus is on how to design and build an SSPB which will later be carried out in the stages of testing and data collection, then the results of the data collection will be processed. The SSPB design and fabrication process must use the help of 3D CAD and 2D CAD software and then at the fabrication stage must use a microfiber CNC machine that is capable of cutting copper plates with a thickness below 1 mm without causing melting. After the design and fabrication process was carried out, the results obtained were an increase in the surface area of the heat coating from variations of the inclination angle of 90°, 60° and 45° of 0.21, 0.22 and 0.25 m² from variations without additional SCPB, namely variations of plain inner pipes/ the original is equal to 0.11 m².

Keywords: *heat exchanger*, *double pipe*, design, *semi-circular perforated baffle*, heat transfer area

PENDAHULUAN

Arsana I M. et al (2020). *Heat exchanger* adalah suatu alat yang digunakan sebagai metode pada suatu proses yang dilakukan dengan tujuan menukar energi dalam bentuk kalor antara sirkulasi fluida yang terjadi pada temperatur berbeda. Proses tersebut dapat terjadi melalui kontak langsung maupun kontak tidak langsung.

Septiawan Fajar D A. & Arsana I M (2022). Banyak jenis *heat exchanger* yang dirancang bangun dan digunakan dalam pusat pembangkit dan unit pendinginan sebagai alat bantu dalam siklus kerja pada industri. *Fin* adalah salah satu komponen penting DPHE. *Fin* digunakan sebagai hambatan termal pada proses perpindahan energi kalor yang berfungsi untuk

memberikan waktu kontak atau tinggal fluida kerja secara tidak langsung.

Kamil A H (2017). Peningkatan perpindahan kalor dengan menggunakan variasi jumlah *circular fins* yang berbeda (8, 10, 12, 16, dan 20) dalam DPHE secara eksperimental. *circular fins* terbuat dari tembaga dengan dimensi 66 mm OD, 22 mm ID dan ketebalan 1 mm. Setiap *circular fins* memiliki tiga lubang berdiameter 14 mm yang terletak pada 120° satu sama lain. *circular fins* dipasang pada OD *inner pipe* dengan material tembaga yang memiliki panjang 1 m yang memiliki ID 19,9 mm dan OD 22,2 mm. Tabung dimasukkan kedalam *outer pipe* dengan material PVC berinsulasi ID 100 mm. Air dengan temperatur rendah di pompa pada sisi annulus yang dengan variasi *circular fins*, pada kisaran laju aliran

massa (0,01019 - 0,0219) kg/s, jumlah *reynolds number* berkisar (640 - 1921).

Salem. et al (2017). Karakteristik perpindahan kalor konveksi dan *pressure drop* aliran fluida kerja di sisi annulus DPHE. Dua belas (12) variasi DPHE dengan konfigurasi *counter-flow* dibuat dengan/tanpa *single segmental perforated baffle* (SSPB), yang dibuat dengan *hole spacing ratio* (ψ), *void ratio* (ϕ), *cut ratio* (δ), *pitch rasio* (λ), dan *inclination angle* (θ) yang berbeda. Eksperimen dilakukan untuk *reynolds number* sisi annulus dari 1380 hingga 5700, dan untuk *prandtl number* dari 5,82 hingga 7,86. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan SSPB dengan *hole spacing ratio* (ψ), *void ratio* (ϕ) dan *inclination angle* (θ) serta penurunan *cut ratio* (δ) dan *pitch rasio* (λ) SSPB meningkatkan rata-rata *nusselt number* pada sisi annulus (Nu_{an}) dan *friction factor* (f_{an}). *Thermal performance index* (TPI) dihitung untuk membandingkan kinerja termal dari DPHE dengan SSPB dan DPHE tanpa SSPB. Diamati bahwa peningkatan SSPB dengan *hole spacing ratio* (ψ) dan *inclination angle* (θ), dan penurunan *void ratio* (ϕ) SSPB, *cut ratio* (δ), dan *pitch rasio* (λ) meningkatkan *thermal performance index* (TPI).

Hussein. et al (2020). Kinerja perpindahan kalor dari double pipe heat exchanger (DPHE) dengan fluida kerja udara dan air diuji coba secara eksperimental. Semi-circular perforated baffles diaplikasikan pada sisi annulus DPHE. Setiap *baffle* berisi *semi-circular fins*. Diamati bahwa kinerja termal DPHE dengan Semi-circular perforated baffle lebih baik daripada pipa tanpa *baffle*. Rata-rata koefisien perpindahan kalor keseluruhan meningkat sebesar 29,7%, 62%, dan 80,6% dengan menggunakan *semi-circular fins* dengan diameter perforasi 30, 25, dan 20 mm. *Thermal performance factor* (TPF) pada DPHE dengan semua variasi *baffle* dengan semi-circular fins yang telah dilakukan eksperimen dengan kinerja termal terbaik yang diperoleh dengan menggunakan semi-circular perforated baffle dengan diameter perforasi sebesar 20 mm.

METODE

Penelitian ini berfokus pada proses rancang bangun SCPB sampai siap untuk di uji pada tahap pengujian dan pengolahan data performa *heat exchanger*, dimana penulis melakukan proses desain SCPB hingga fabrikasi selesai.

Berikut ini merupakan spesifikasi dari *double pipe heat exchanger* yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya, sebagai gambaran bagaimana bentuk dari alat uji yang nantinya akan digunakan setelah proses rancang bangun SCPB ini selesai dikerjakan.

Spesifikasi Double Pipe Heat Exchanger

Tabel 1. Spesifikasi Double Pipe Heat Exchanger

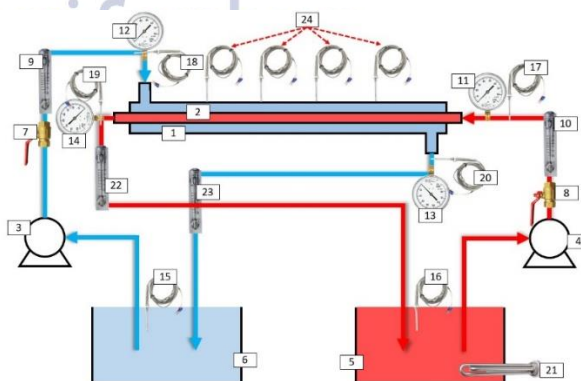
No.	Komponen	Klasifikasi	Dimensi
		Aliran	Counter flow
1	Fluida	Tipe perpindahan kalor	Kontak tidak langsung
		Laluan fluida	Satu fase

Fluida pada sisi Outer pipe	Air
Fluida pada sisi Inner pipe	Air
Temperatur fluida dingin inlet di sisi Inner pipe	30°C
Temperatur fluida panas inlet di sisi Outer pipe	80°C

2	Outer pipe	Jumlah laluan Outer pipe	1 laluan
		Diameter luar Outer pipe	76,2 mm
		Tebal Outer pipe	2 mm
		Material Outer pipe	Stainless steel 304
3	Inner pipe	Jumlah laluan Inner pipe	1 laluan
		Diameter luar Inner pipe	35 mm
		Tebal Inner pipe	1 mm
		Material Inner pipe	Tembaga (Cu)
4	Semi-circular perforated baffle	Diameter Baffle	68 mm
		Tebal Baffle	0,75 mm
		Material Baffle	Tembaga (Cu)
		Jumlah Baffle	18
		Sudut kemiringan Baffle	90°, 60°, dan 45°
		Diameter perforasi	13 mm
		Jumlah perforasi	8
5	Thermal foam aluminium	Tebal insulasi	4 mm

Peralatan Eksperimen dan Instrumen Penelitian

Pada gambar 2 dibawah ini menggambarkan bagaimana proses peletakan setiap komponen yang ada dalam *double pipe heat exchanger* termasuk letak dan posisi dari *inner pipe* yang nantinya akan ditambahkan variasi SCPB dengan berbagai sudut kemiringan. Sebagai panduan supaya proses rancang bangun bisa dilakukan tanpa adanya kesalahan.



Gambar 1. Skema alat uji *double pipe heat exchanger*

Pada gambar 3 dijelaskan nama tiap bagian dari alat uji DPHE untuk membantu memahami cara kerjanya.

Tabel 2. Keterangan skema alat uji *double pipe heat exchanger*

No.	Keterangan	No.	Keterangan
1	Outer pipe	13	Pressure gauge outlet fluida panas
2	Outer pipe	14	Pressure gauge outlet fluida dingin
3	Pompa air dingin	15	Thermometer tandon fluida dingin
4	Pompa air panas	16	Thermometer tandon fluida panas
5	Tandon air panas	17	Thermocouple inlet fluida panas
6	Tandon air dingin	18	Thermocouple inlet fluida dingin
7	Valve fluida dingin	19	Thermocouple outlet fluida panas
8	Valve fluida panas	20	Thermocouple outlet fluida dingin
9	Flowmeter inlet fluida dingin	21	Heating element
10	Flowmeter outlet fluida panas	22	Flowmeter outlet fluida panas
11	Pressure gauge inlet fluida panas	23	Flowmeter outlet fluida dingin
12	Pressure gauge inlet fluida dingin	24	Thermocouple permukaan luar outer pipe

Setelah mengetahui secara keseluruhan dari komponen alat uji DPHE, maka tahapan selanjutnya adalah mendefinisikan lebih spesifik komponen inti dari DPHE yang terdiri dari *inner pipe* dan *outer pipe* seperti yang sudah dijelaskan pada bagian bawah ini.

Berikut merupakan spesifikasi dari *outer pipe*:

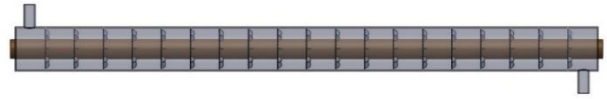
Jumlah <i>outer pipe</i> (N)	= 1 buah
Jumlah laluan <i>outer pipe</i> (n)	= 1 buah
Diameter luar <i>outer pipe</i> (Do)	= 76,2 mm
Diameter dalam <i>outer pipe</i> (Di)	= 72,2 mm
Panjang <i>outer pipe</i> (L)	= 1100 mm
Ketebalan <i>outer pipe</i>	= 2 mm
Konduktivitas termal (k)	= 15,1 W/m°C
Material <i>outer pipe</i>	= <i>Stainless steel 304</i>

Berikut spesifikasi dari *inner pipe*:

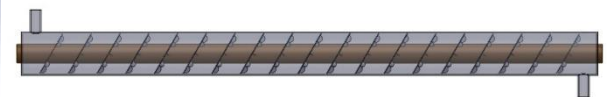
Jumlah <i>inner pipe</i> (N)	= 1 buah
Jumlah laluan <i>inner pipe</i> (n)	= 1 buah
Diameter luar <i>inner pipe</i> (Do)	= 35 mm
Diameter dalam <i>inner pipe</i> (Di)	= 33 mm
Panjang <i>inner pipe</i> (L)	= 1100 mm
Ketebalan <i>inner pipe</i>	= 1 mm
Konduktivitas termal (k)	= 385 W/m°C
Material <i>inner pipe</i>	= Tembaga (Cu)

Perencanaan Peletakan SCPB terhadap DPHE

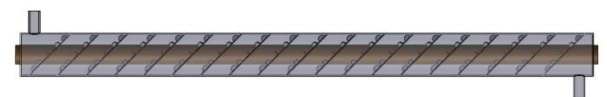
Sebelum melakukan tahapan desain dan fabrikasi SCPB terlebih dahulu kita harus mengetahui rencana peletakan SCPB pada *inner pipe*. Berikut ini merupakan desain dan detail dimensi dari SCPB yang akan digunakan pada tahapan pengambilan data dan analisis performanya.

**Gambar 2.** Desain SCPB dengan sudut kemiringan 90°**Tabel 3.** Dimensi SCPB dengan sudut kemiringan 90°

Komponen	Keterangan
Material	Tembaga (Cu)
Ketebalan	0,75 mm
Perforation shape	<i>Semi-circular</i>
Perforation diameter	13 mm
Jumlah SCPB	18
Sudut kemiringan	90°

**Gambar 3.** Desain SCPB dengan sudut kemiringan 60°**Tabel 4.** Dimensi SCPB dengan sudut kemiringan 60°

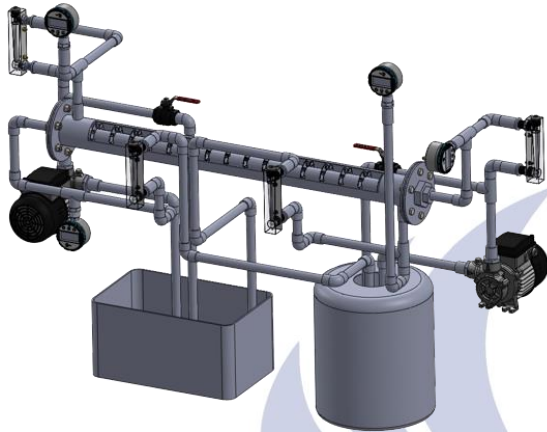
Komponen	Keterangan
Material	Tembaga (Cu)
Ketebalan	0,75 mm
Perforation shape	<i>Semi-circular</i>
Perforation diameter	13 mm
Jumlah SCPB	18
Sudut kemiringan	60°

**Gambar 4.** Desain SCPB dengan sudut kemiringan 45°**Tabel 5.** Dimensi SCPB dengan sudut kemiringan 45°

Komponen	Keterangan
Material	Tembaga (Cu)
Ketebalan	0,75 mm
Perforation shape	<i>Semi-circular</i>

Perforation diameter	13 mm
Jumlah SCPB	18
Sudut kemiringan	45°

Untuk medetailkan posisi dari setiap instrumen dan komponen dari alat uji, berikut ini hasil desain dan foto dari alat uji DPHE yang sudah jadi.



Gambar 5. Desain *isometric* alat uji *double pipe heat exchanger*



Gambar 6. Alat uji *double pipe heat exchanger*

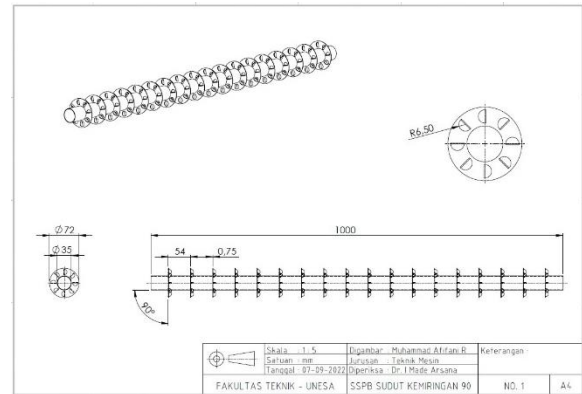
Tahap Desain SCPB

Tahapan awal dalam mendesain sebuah SCPB yang ketika dimiringkan masih tetap menjaga jarak atau *pitch* antara SCPB dengan dinding bagian dalam dari *outer pipe* tidaklah mudah. Oleh karena itu bantuan software 3D CAD sangat membantu dalam proses pengerjaan ini.

Berikut ini adalah tahapan proses mendesain pada setiap sudut kemiringan SCPB:

• SCPB sudut kemiringan 90°

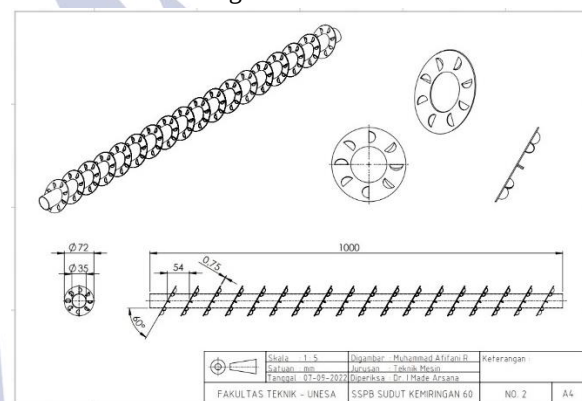
Pada sudut kemiringan 90° sangatlah mudah karena posisinya yang tegak lurus dengan *inner pipe* sehingga kita cukup mendesain langsung dari 2D CAD sesuai dengan rancangan desain seperti gambar dibawah ini:



Gambar 7. Gambar detail SCPB 90°

Setelah itu simpan hasil pekerjaan kita di tempat yang sudah kita tentukan.

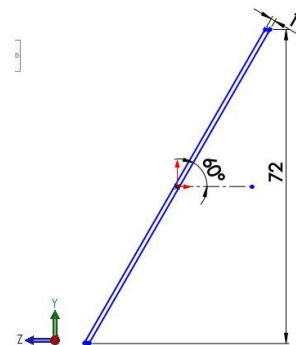
• SCPB sudut kemiringan 60°



Gambar 8. Gambar detail SCPB 60°

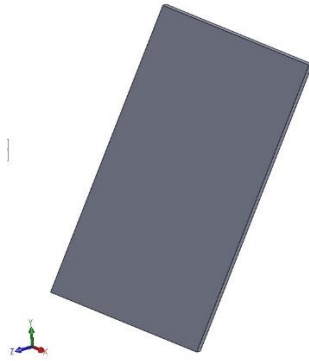
Tahapan mendesain SCPB dengan sudut kemiringan ini cukup *tricky* kita tidak bisa mengandalkan 2D CAD karena geometri yang terbentuk ketika sudut kemiringan 60° tidak bisa digambar tanpa adanya perspektif 3D, oleh karena itu kita menggunakan 3D CAD.

Langkah pertama tentukan *plane* yang akan kita gambarkan, kita gunakan *plane ZY* untuk mendesain posisi samping dari SCPB, dan masukan semua geometri yang sudah di tentukan seperti gambar berikut



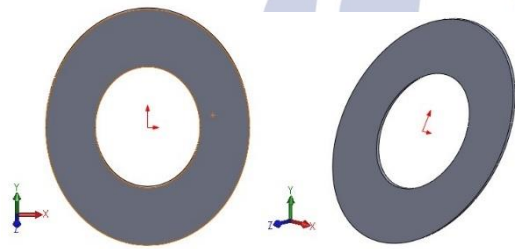
Gambar 9. Sketsa *plane XY* SCPB 60°

- Setelah itu *extrude* ke arah sumbu X, sebesar diameter pipa bagian dalam atau diameter dari SCPB.



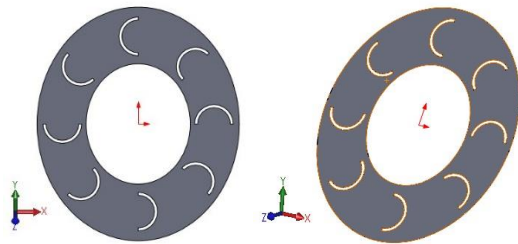
Gambar 10. Isometric view sketsa SCPN 60°

- Setelah itu *extrude cut* tepat dari plan XY sebesar diameter SCPB dan diameter *inner pipe*.



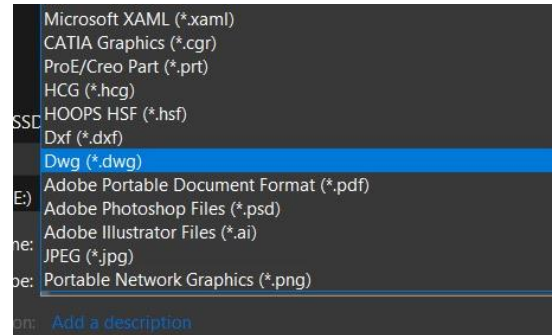
Gambar 11. Hasil *extrude cut* SCPB 60°

- Setelah itu gambar *perforated fins* yaitu lubang setelah lingkaran pada SCPB sesuai dengan desain lalu *extrude cut*.



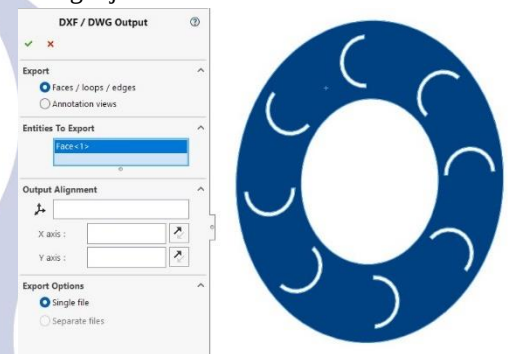
Gambar 12. Hasil *extrude cut perforated fins* SCPB 60°

- Setelah proses desain selesai, maka tahapan *export* menjadi file DWG supaya bisa di proses pada 2D CAD sebelum masuk ke tahapan CNC. Pertama klik *file* lalu klik *save as* setelah itu pilih format file DWG



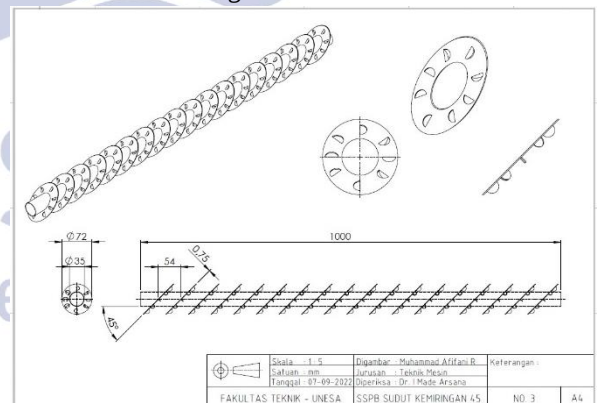
Gambar 13. Save as DWG

- Setelah itu akan muncul menu yang memerintahkan seleksi geometri yang akan di *export* ke format DWG, klik *surface* saja lalu klik centang hijau.



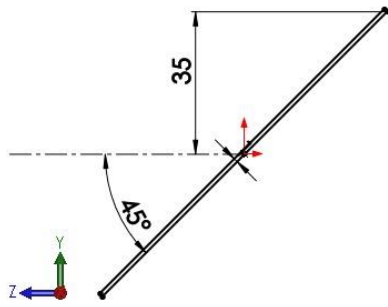
Gambar 14. Seleksi *surface* SCPB to export DWG

- File* DWG sudah selesai dibuat
- SCPB sudut kemiringan 45°



Gambar 15. Gambar detail SCPB 45°

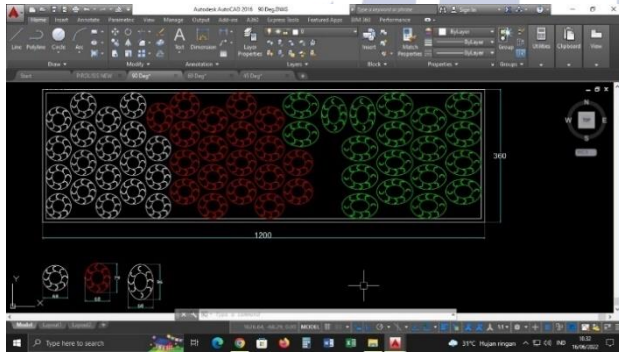
Pada tahapan SCPB dengan sudut kemiringan 45° ini sama dengan tahapan sudut kemiringan 60° hanya saja pada tahapan awal di *plane ZY* harus digambar dalam sudut kemiringan 45°



Gambar 16. Sketsa plane XY SCPB 45°

Tahap Fabrikasi SCPB

Tahapan fabrikasi ialah tahapan dimana *file* yang sudah dibuat dalam bentuk DWG tadi harus dijadikan satu dalam satu persegi seluas lembaran plat tembaga yang berukuran 365 x 1200 mm dengan jumlah yang sudah ditentukan yaitu 18 per masing-masing variasi sudut kemiringan SCPB.



Gambar 17. 2D CAD preview

Setelah selesai melakukan penataan pada lembaran plat tembaga, tahap selanjutnya ialah proses pemotongan menggunakan mesin CNC *microfiber*.



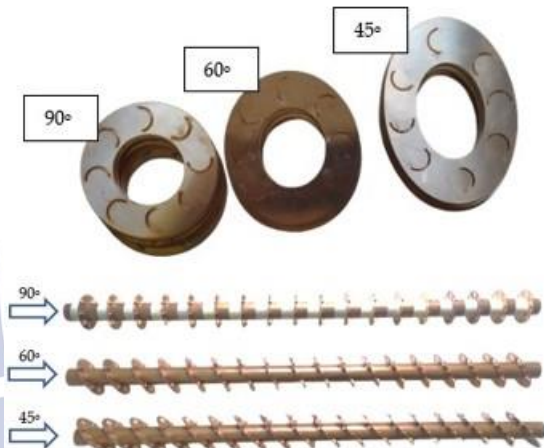
Gambar 18. Proses pemotongan & pembungkakan SCPB

Setelah tahapan pemototongan maka, tahap selanjutnya adalah membungkakkan *fins* yang ada pada SCPB sampai semia variasi sudut kemiringan selesai dikerjakan.



Gambar 19. proses *fitting* dan pengelasan SCPB

Setelah itu pemasangan SCPB pada *inner pipe* dan lanjut proses pengelasan atau penyolderan antara *inner pipe* dengan SCPB menggunakan pengelasan *oxygen actylene welding* (OAW) dan pakan las dengan pakan dengan material perak (Ag).



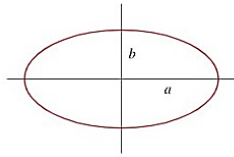
Gambar 20. Hasil fabrikasi SCPB

Setelah tahapan pengelasan maka *inner pipe* dengan tambahan variasi sudut kemiringan SCPB 90°, 60°, dan 45° telah selesai dibuat dan siap dilakukan tahapan pengambilan data dan pengolahan data performa dari *heat exchanger*.

Tahap Perhitungan Luas Area Perpindahan Kalor

Pengolahan data dilakukan setelah proses fabrikasi selesai, untuk itu kita bisa melakukan proses perhitungan luas area untuk menghitung berapa perubahan luas area setelah adanya SCPB yang divariasikan dengan sudut kemiringan dari sebelumnya yang tanpa SCPB.

Menghitung nilai luas permukaan perpindahan kalor total pada *heat exchanger* (A_{total}).



$$A_{ma} = \pi \cdot (a \cdot b)$$

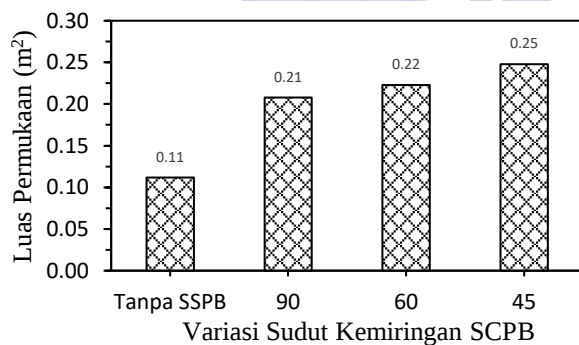
$$A_{mi} = \pi \cdot (a \cdot b)$$

$$A_{total} = A_{pipe} + [(A_{mo} - A_{mi}) \cdot 2] \cdot N_b$$

Untuk mengetahui nilai dari a & b pada SCPB harus diukur menggunakan *software* CAD atau setelah fabrikasi bisa menggunakan alat ukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan maka luas area perpindahan kalor dapat dilihat mengalami peningkatan yang cukup signifikan, ini merupakan penelitian baru dimana dengan memiringkan sudut kemiringan dan menjaga jarak atau *pitch* antara SCPB dengan permukaan dalam *outer pipe* memiliki peningkatan luas area perpindahan kalor yang nantinya diharapkan bisa meningkatkan proses perpindahan kalor seiring semakin besarnya luas area perpindahan kalor tersebut dengan nilai 0,11, 0,21, 0,22, dan 0,25 m^2 dengan variasi tanpa SCPB, dan sudut kemiringan 90°, 60°, dan 45°



Gambar 21. Grafik Pengaruh Sudut Kemiringan SCPB Terhadap Luas Permukaan Perpindahan Kalor (A_{total})

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun dengan variasi sudut kemiringan *single segmental perforated baffle* dengan *semi circular fins*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah tahapan pengambilan data luas area perpindahan kalor mengalami peningkatan secara terus menerus, dengan nilai 0,11, 0,21, 0,22, dan 0,25 m^2 dengan variasi tanpa SCPB, dan sudut kemiringan 90°, 60°, dan 45°
2. Proses desain untuk geometri yang memiliki bentuk yang kompleks dan presisi sangat disarankan untuk menggunakan 3D CAD yang dikolaborasikan dengan 2D CAD.

3. Proses fabrikasi SCPB menggunakan mesin CNC *mirofiber* sangat disarankan karena presisi dan tidak membuat material *melting*

Saran

Adapun saran dari hasil rancang bangun ini yang mampu dikembangkan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- Pemilihan material yang digunakan harus memiliki ketebalan diatas 1 mm, untuk mempermudah proses pemotongan dan pengelasan supaya bisa maksimal dan material tidak mudah meleleh.
- Jangan pernah mencoba memotong plat sejenis dengan mesin CNC laser plasma dikarenakan akan mengakibatkan kerusakan plat, dan material akan mudah meleleh.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Bendaraa, My. M. Charaf, and A. Hasnaoui. (2021). *Numerical and experimental investigation of alumina-based nanofluid effects on double-pipe heat exchanger thermal performances*. SN Applied Sciences (2021) 3:172.
- Abdulmunem R. Abdulmunem, *Experimental Comparasion Convection Coolants and (TiO₂/Water) Nanofluid to select the best Coolant for Automobiles in Iraq's Summer Season*, Eng. & Tech Journal, Vol.34, Part (A). No.5.2016
- Ahmad Husen, Tubagus M. Ichwan Akbar, dan Nur Cholis. Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger, (2020). BINA TEKNIKA, Volume 16 Nomor 1.
- Akbar, F. R. & Arsana, I M, (2020). *Effect of Wire Pitch on Capacity of Single Staggered Wire and Tube Heat Exchanger Using Computational Fluid Dynamic Simulation*. 33(8), IJE TRANSACTIONS B: Applications Vol. 33, No. 8, (August 2020) 1637-1642. DOI: 10.5829/ije.2020.33.08b.22.
- Arsana, I M., Agista, D R., Ansori, A., Sutjahjo, D H., & Effendy, M. *The Effect of Nanofluid Volume Fraction to the Rate of Hate Transfer Convection Nanofluid Water-Al₂O₃ on Shell and Tube Heat Exchanger*, International Conferences on Science and Technology, (2019). DOI: 10.1088/1742- 6596/1569/3/032048
- Association, T. E. (2019). *Standards of The Tubular Exchanger Manufacturers Association Tenth Edition*. New York: TEMA.
- Braga, C V M., & Saboya, F E M., *Turbulent heat transfer, pressure drop and fin efficiency in annular regions with continuous longitudinal rectangular fins*. *Experimental Thermal and Fluid Science* 20 (1999) 55±65.
- Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer; 2nd Edition*
- Colaço, Andrey Barbosa., Bernardo, Flavia., Lopes, Marcos Batistella., & Viviana Cocco Mariani, *Optimization Of Double Pipe Heat Exchanger With*

- Single Segmental Perforated Baffles*, 17th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering November 25th-28th, (2018). DOI:10.26678/ABCM.ENCIT2018.CIT18-0234.
- Dimas H. A. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Annular, Dengan *Perforated Twisted Tape Insert*, dan *Jagged Twisted Tape Insert*, Universitas Sebelah Maret, (2012).
- Hendri, Prayudi, Roswati Nurhasanah, dan Bagus Amiadi. Analisis Pengaruh Penurunan Temperatur LMTD Terhadap Unjuk Kerja HRSG pada PLTGU, (2018). Jurnal PowerPlant, Vol. 6, No. 2. P-ISSN: 2356-1513, e-ISSN: 2656-372X.
- Holman, J. (1995). *Heat Transfer*. 10th Edition (I. The McGraw-Hill Companies, ed.). New York.
- Hussein, M A dan Hameed Vinous, M. *Experimental Investigation on the Effect of Semi-circular Perforated Baffles with Semi-circular Fins on Air–Water Double Pipe Heat Exchanger*, Arabian Journal for Science and Engineering, (2021). DOI:10.1007/s13369-021-05869-0.
- Incropera, F. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th Edition (I. : John Wiley & Sons, ed.). New York.
- Ir. Unggul Sitompul. (1993). *Alat Penukar Kalor (heat exchanger)*.
- Kakac, et. al. (2012). *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design*, Third Edition.
- Kamil Abdul Hussien. *Experimental Investigation of Heat Transfer Enhancement by Using Different Number of Fins in Circular Tube*, Wasit Journal of Engineering Sciences, (2017). Vol. 6, No. 3.
- Kuppan, T. (2017). *Heat Exchanger Design Handbook Second Edition*. Heat Exchanger Handbook.
- Mehrabian, M A., Mansouri, S H., & Sheikhzadeh, GA. *The Overall Iheat Transfer Characteristics of a Double Pipe Heat Exchanger: Comparasion of Experimental Data With Predictions of Standard Correlations*, Internasional Journal of Engineering. (2002). ISSN: 1728-144X, e-ISSN: 1734-9244.
- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, & Margaret B. Bailey (2011). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (John Wiley & Sons, ed.). New York.
- Mufid., Hakim Arif Rahman., & Widiono Bambang. Pengaruh Pitch Tubulator Terhadap NTU Pada Double Pipe Heat Exchanger, J. Tek. Kim. Ling, (2019) 3 (1), 27-33 p-ISSN: 2579-8537, e-ISSN: 2579-9746.
- Mustaza Ma'a. Karakteristik Perpindahan Panas pada Double Pipe Heat Exchanger, perbandingan aliran parallel dan counter flow, Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. I, No. 2, (2013), Hal 161-168.
- Philip J. Pitchard & John C. Leylegian. (2011). *Fox and McDonald's INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS*. 8th Edition (I. : John Wiley & Sons, ed.). New York.
- Pramesti, S. T. & Arsana, I M (2020). *Experimental Study of Baffle Angle Effect On Heat Transfer Effectiveness Of The Shell And Tube Heat Exchanger Using Helical Baffle*. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, Vol. 43, No. 3, pp.332- 338, (2020). ISSN: 1024-1752, 2020.43(3).
- Rajashekaraiiah Thejaraju. *A Comprehensive Review on Design and Analysis of Passive Enhancement Techniques in Double Pipe Heat Exchanger*. International Journal of -Scientific & Technology Research, (2019). ISSN: 2277-8616.
- Reddy, N Sreenivasalu., Rajagopal, K., & Veena, P H. *Experimental Investigation of Heat Transfer Enhancement of a Double Pipe Heat Exchanger with Helical Fins in the Annulus Side*, International Journal of Dynamics of Fluids. ISSN 0973-1784 Volume 13, Number 2 (2017), pp. 285-293
- Salem, M R., Althafeeri, M K., Elshazly, K M., Higazy, M G., Abdrabbo, M F. *Experimental investigation on the thermal performance of a double pipe heat exchanger with segmental perforated baffles*, Internasional Journal fo Thermal Sciences 122, (2017). Hal. 39-52.
- Septiawan, Fajar D N., & Arsana I. M. *Rancang Bangun Fin Tipe Helical pada Penukar Panas Double Pipe*. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 10 No. 01, (2022). Hal. 45-40.
- Skullonga, Sompol., Promvongeb, Pongjet., Jayranaiwachirab, Nuthvipa., & Thianpong, Chinaruk. *Experimental and numerical heat transfer investigation in a tubular heat exchanger with deltawing tape inserts*, Chemical Engineering and Processing, (2016). <http://doi.org/10.1016/j.cep.2016.09.005>.
- Sugiyono. (2007). *metode penelitian kuantitatif kualitatif*. Jakarta: Alfabeta.
- Tri Wijayanta, Agunng., Kristiawan, Budi., Pranowo, Premono Agung, & Aziz Muhammad. *Computational Fluid Dynamics Analysis of an Enhanced Tube with Backward Louvered Strip Insert*, Energies 2019, 12, 3370; doi:10.3390/en12173370.
- U.S. Departement of Energy Washington, D.C. 20585. *DOE Fundamentaks Handbook Thermodynamics, Heat Transfer, and Fluid Flow*, (1992). DOE-HDBK-1012/3-92.
- Zacharias, P. & Pancoko, M. *Perekayasaan Heat Exchanger sebagai Pemanas Umpan UF6 Dalam Pabrik Elemen Bakar Nuklir*, Prima Vol. 8, No. 2, (2011). ISSN: 1411-0296.
- Zohuri Bahman. *Compact Heat Exchangers Application in NGNP*, Springer International Publishing Switzerland, (2017). DOI:10.1007/978-3-319-29835-1_7.