



Analisa Pengaruh Laju Aliran Dan Jarak *Baffle* Terhadap Alat Penukar Kalor *Shell And Tube Tipe Double Segmental Baffle*

Moh Bakhrul Ulum (Mahasiswa), Ir. Gatut Prijo Utomo M.Sc (Dosen Pembimbing)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: ulumtemaji@gmail.com

ABSTRAK

Perpindahan panas merupakan ilmu/pengetahuan yang digunakan untuk memperkirakan sebuah perpindahan energi yang mungkin terjadi antar benda karena perubahan suhu. Ajaran termodinamika mendefinisikan perpindahan energi sebagai panas. Perpindahan panas bukan hanya memberitahukan bagaimana energi panas dipindahkan, tapi juga memperkirakan perpindahan panas dalam kondisi tertentu. Untuk penelitian ini nantinya menggunakan 2 variabel yaitu laju aliran air dan jarak *baffle*, yang mana pada variabel laju aliran terdapat 3 variasi laju aliran yaitu 30 cm/s, 40 cm/s dan 50 cm/s dan variabel jarak *baffle* yang terdapat 3 variasi yaitu 8cm, 11cm dan 14cm. Hasil dari penelitian ini menghasilkan performa pada alat *heat exchanger* yaitu pada laju aliran panas dimana pada variasi laju aliran 50cm/s dan jarak *baffle* 8 cm memiliki total laju perpindahan sebesar 1184 W. Kemudian untuk efektivitas performa *heat exchanger* yang memiliki nilai tertinggi ada pada laju aliran air 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm. Dan untuk nilai NTU tertingginya ada pada laju aliran air 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa efektivitas tinggi memberikan performa *heat exchanger* lebih baik dan itu ada pada laju aliran air 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm.

Kata kunci: Perpindahan Panas, Laju Aliran, Jarak *Baffle*

PENDAHULUAN

Transfer panas ialah ilmu yang digunakan untuk memperkirakan transfer energi yang bisa terjadi antar benda karena perbedaan/perubahan suhu pada benda. Ajaran termodinamika mendefinisikan perpindahan energi ini sebagai sebuah panas.. Kehadiran penukar panas dalam proses industri biasanya memainkan peran proses industri dan sebagian besar proses. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mwaba, untuk industri besar, penukar panas yang berfungsi dengan baik dapat mengurangi penggunaan bahan bakar, yang dapat menghemat jutaan dolar biaya produksi tahunan. (Mwaba et al, 2006). Desain transfer panas paling luas saat ini adalah penukar panas shell-and-tube. Tipe

ini memiliki banyak keunggulan dalam merancang konversi energi dari panas ke dingin atau sebaliknya. Untuk alasan ini, para peneliti telah melakukan banyak pengembangan bundel tabung, dengan fokus pada konversi energi yang lebih baik dari pengurangan tekanan ke perpindahan panas, yaitu pada mengubah desain *baffle*. Salah satu *heat exchanger* yang saya rancang adalah menggunakan tipe *single stage tube bundle* dimana cairan hanya mengalir ke *heat exchanger* satu kali. Berdasarkan proses perpindahannya, alat penukar kalor dibagi menjadi dua bagian, yaitu: kontak langsung dan kontak tidak langsung. Penukar panas kontak langsung adalah penukar panas di mana perpindahan panas antara cairan panas

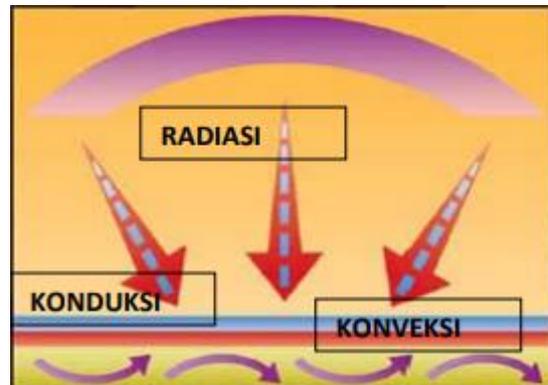
dan dingin terjadi secara langsung atau tanpa penghalang. Dengan penukar panas tidak langsung, perpindahan panas antara dua cairan dibatasi oleh penghalang dinding. Tergantung pada jumlah fluida kerja, penukar panas dapat dibagi menjadi dua fluida, tiga fluida dan N fluida ($N > 3$). Menurut tinjauan, hanya jumlah media kerja yang diperiksa, yang harus, bagaimanapun, sesuai dengan konsep dasar penukar panas. yaitu harus merancang media yang berfungsi sebagai media cair, panas dan dingin untuk jumlah yang sesuai. Ada beberapa jenis sekat pada *heat exchanger* salah satunya adalah *baffle* segmen, dan juga terdiri dari beberapa jenis yaitu *single segment*, *double segment* dan *three segment baffle*. *Baffle* yang biasa digunakan adalah tipe *single* dan *double*, dimana tipe *baffle* ini sangat efektif untuk mengalirkan cairan ke dalam pipa atau *jacket*. Dengan memvariasikan jarak penyekat segmen ganda dan variasi laju aliran, Anda diharapkan mengetahui variasi apa yang dapat dibuat oleh penukar panas; panas ini bekerja secara efisien. Penukar panas *shell and tube* yang saya rancang seperti pemanas air mandi seperti yang sering kita lakukan di rumah karena pandemi yang mudah membuat kita stres atau tertekan, jadi mandi air hangat adalah cara untuk mengurangi stres dan depresi karena membuat otot meregang. Adanya *water heater* yang semakin praktis memudahkan ketersediaan air panas.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Perpindahan Panas

Panas merupakan suatu energi yang bisa dipindahkan atau di transfer dari satu benda ke benda yang lain tapi tidak bisa dibuat atau dihancurkan. Pada proses transfer panas, kalor bisa menyebabkan perubahan suhu sebuah zat atau perubahan pada tekanan, kimia maupun reaksi listrik. Perpindahan panas adalah ilmu memperkirakan perpindahan ataupun perubahan energi yang mungkin terjadi akibat perbedaan atau pun perubahan suhu antar benda atau bahan. Perpindahan panas adalah salah satu ilmu teknik *thermal*, yang menyelidiki bagaimana panas dihasilkan, digunakan, diubah dan

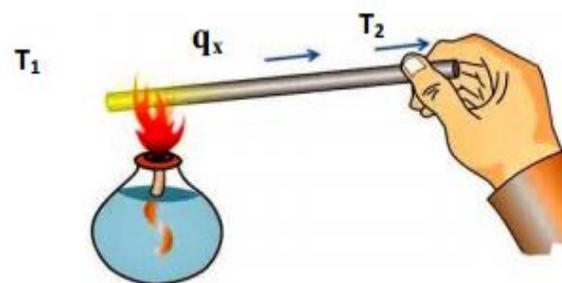
dipertukarkan antara sistem fisik. Dalam bukunya Frank Kreith Perpindahan panas ada tiga bagian, yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi.



Gambar 2.1 Prinsip Proses Dari Transfer Panas

2. Mekanisme Perpindahan Panas

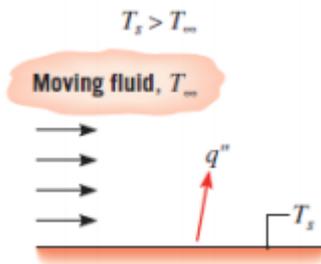
Ada 3 jenis mekanisme perpindahan atau transfer panas, Perpindahan panas yang melalui konduksi. Pada sebuah gambar di bawah dapat dilihat bahwa sebuah batang silinder yang memiliki bahan tertentu tanpa insulasi pada bagian luar dan pada sebuah ujungnya dipanaskan menggunakan api jadi kedua ujung permukaan mempunyai suhu yang berbeda yaitu T_1 lebih besar dari pada T_2 . Dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Skema perpindahan atau transfer panas terjadi

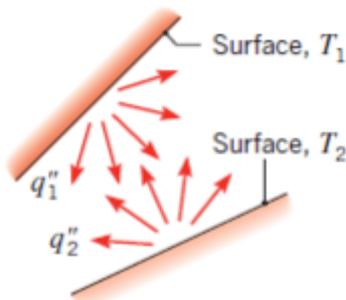
Perpindahan Panas pada Konveksi membutuhkan medium perantara pada perpindahannya. Tetapi pada konveksi membutuhkan sebuah pergerakan pada fluida sebagai transfer panas. perpindahan panas pada konveksi sangat dipengaruhi oleh sifat dari fluida seperti viskositas dinamis, konduktifitas *thermal*, massa jenis dan panas spesifik C_p dan dipengaruhi oleh kecepatan

pada fluida. Pada konveksi juga tergantung dari bentuk dan juga kekasaran pada permukaan bahkan dipengaruhi oleh jenis pada aliran, seperti laminar maupun turbulen. Dari penjelasan ini dapat kita simpulkan bahwa perpindahan/transfer panas pada konveksi sangat bervariasi karena tergantung dari banyaknya variabel. Maka dari itu pada konveksi merupakan perpindahan/transfer panas yang sangat kompleks. Meski konveksi itu kompleks, dapat diamati bahwa laju pada perpindahan/pertukaran panas dari konveksi berbanding lurus dengan perbedaan atau perubahan suhu dan bisa ditulis oleh hukum pendinginan Newton. Dibawah ini merupakan skema perpindahan panas dari konveksi:



Gambar 2.3 Perpindahan panas secara konveksi

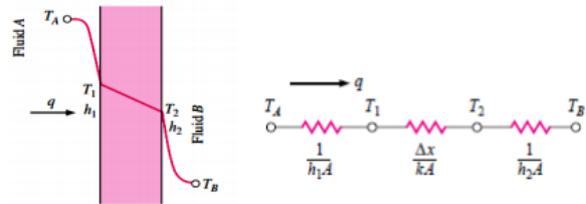
Perpindahan Panas Pada Radiasi berbeda dari perpindahan atau transfer panas konduktif dan konvektif. Perpindahan panas radiasi tidak memerlukan adanya bahan apapun sebagai perantara untuk perpindahan panas. Padahal, energi yang ditransmisikan oleh radiasi paling cepat dibawah ini adalah diagram proses yang dilakukan oleh perpindahan/transfer panas secara radiasi:



Gambar 2.4 Perpindahan Panas Pada Radiasi

Perpindahan/transfer panas menyeluruh, pada sebuah alat transfer panas ada 2 jenis fluida yang mengalir dan dipisah oleh suatu dinding

bahan yang berbentuk tabung. Jika perpindahan panas kedua zat cair melalui dinding masif, yang pertama adalah perpindahan panas secara konveksi ke permukaan pada dinding, lalu panas dipindahkan melalui dinding masif ke permukaan, kemudian dinding fluida dingin yang dibuat dengan cara konduksi memindahkan panas ke dalam fluida dingin yang dibuat konveksi, maka suhu fluida dingin akan mengalami kenaikan. Dibawah adalah skema perpindahan panas umum yang terjadi pada suatu dinding:



Gambar 2.5 Perpindahan Panas Menyeluruh

3. Alat Penukar Panas

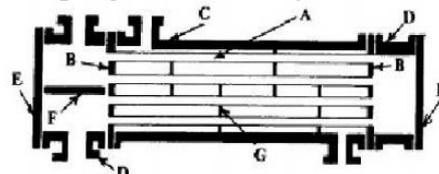
Penukar panas merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memindahkan panas yang dapat difungsikan sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas biasanya dibuat agar perpindahan panas pada fluida dapat berlangsung secara efisien.

4. Shell And Tube Heat Exchanger

Heat exchanger yang tersusun dari banyak tubing kecil (*tube*) yg disusun didalam sebuah pipa yang besar (*shell*). *Shell and tube heat exchanger* ini mempunyai sebuah penampang pada perpindahan panas yang begitu besar dari jenis yang lain sehingga banyak digunakan dalam industri perminyakan dan juga gas.

5. Komponen - Komponen Pada Shell and Tube Heat Exchanger

beberapa komponen yang sangat mempengaruhi desainnya:



Gambar 2.6 Komponen Shell And Tube Heat Exchanger

- A. Pipa
- B. Lembaran pipa
- C. *Nozel pada housing*
- D. Saluran dan *nozel* pada pipa
- E. Penutup saluran
- F. Pembagi saluran
- G. *Baffle*

Komponen di atas:

- a. Pipa : Pipa adalah digunakan untuk memisahkan antara dua atau lebih jenis fluida yang dialirkan di dalamnya dan sekaligus sebuah bidang perpindahan panas. Tebal dan material pipa harus disesuaikan dengan tekanan kerja media kerja, selain itu material pipa tidak mudah terkorosi oleh media kerja.
- b. Lembaran pipa: Digunakan untuk mencegah pencampuran cairan pada sisi tabung.
- c. Nozel pada housing: dimana fluida kerja mengalir dan juga menampung pipa dan *baffle*, sedangkan *nozzle* sisi *shell* adalah saluran masuk fluida ke dalam *shell*.
- d. Saluran dan nozel pada pipa: tempat media kerja mengalir ke dalam pipa.
- e. Penutup saluran: Sebagai penutup housing atau ujung housing yang memudahkan pembersihan pipa.
- f. Pembagi saluran: Sebagai pembatas aliran zat cair saat masuk dan keluar.
- g. *Baffle* : berfungsi sebagai pengatur arah aliran cairan dalam shell.

Shell

Konstruksi pada *shell* begitu ditentukan oleh kapasitasnya dan sifat pada pipa yang di tempati di dalamnya. Pada *shell* bisa dirancang dari tabung yang besar atau bisa juga menggunakan plat baja yang digulung. *Jacket* adalah tubuh penukar panas, di mana ada tabung. Terkadang pada suhu operasi yang tinggi, terkadang *jacket* terbagi menjadi beberapa sambungan dengan sambungan ekspansi. Gambar berikut dapat dilihat bahwa konstruksi perumahan tersebut dekat dengan desain TEMA.



Gambar 2.7 *Shell*

Tube

Tube adalah penyekat antara fluida yang dialirkan dan juga merupakan medan perpindahan/transfer panas. Secara umum, aliran fluida yang mengalir menuju kedalam tabung lebih sedikit daripada aliran pada fluida yang akan mengalir menuju kedalam housing. Tebal dan bahan selang harus sesuai dengan tekanan dan juga jenis media. supaya tidak mengalami kebocoran dan mudah menimbulkan karatan yang diakibatkan oleh aliran fluida yang mengalir ke dalam pipa. Jenis tata letak tabung didasarkan pada TEMA seperti di bawah ini.



Gambar 2.8 *Tube*

Susunan tabung segitiga sangat populer dan bagus untuk menyajikan cairan kotor/berlumpur atau bersih. Pipa dibersihkan dengan pembersihan kimia. Koefisien perpindahan panas lebih baik daripada susunan pipa seri dengan pitch persegi. Ini digunakan dan juga dapat menghasilkan perpindahan/transfer panas yang sangat baik per unit penurunan tekanan (per unit penurunan tekanan) dan lebih kompak.

Baffle

Baffle atau sekatan yang biasanya dipasang pada heat exchanger mempunyai beberapa kegunaan, yaitu :

- a. Struktur yang digunakan untuk menopang *bundle tube*.
- b. Peredam kejut digunakan sebagai penahan atau pencegah getaran didalam pipa
- c. untuk mengatur maupun sebagai pengarah aliran cairan di luaran pipa sekat secara

struktural dapat dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu:

- Sekat bentuk Segmen
- Sekat bentuk batang
- Sekat *horizontal* atau *longitudinal*
- Sekat *Impingement*

6. Teori Proses Perpindahan Panas

Perpindahan/transfer panas adalah ilmu memperkirakan perpindahan/transfer energi panas yang terjadi akibat dari perbedaan suhu antara benda maupun bahan. Kemudian ilmu perpindahan/transfer panas merupakan ilmu memperkirakan laju perpindahan/transfer panas. Pada saat tertentu Perpindahan/transfer panas dapat diartikan sebagai proses perpindahan/transfer energi (panas) dari suatu tempat ke tempat lainnya karena adanya perbedaan/perubahan pada suhu pada tempat tersebut. Panas yang dilepaskan sesuai dengan panas yang diterima. Kalor adalah sebagai prinsip hitam. Joseph Black merumuskan perpindahan panas antara dua benda yang membentuk suhu termal sebagai berikut.

$$Q_l : Q_t$$

Keterangan :

Q_l : kalor yang dilepas (J)

Q_t : kalor yang diterima (J)

Banyak kalor yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu benda digunakan persamaan berikut:

$$Q = m.c.dt (t_2 - t_1)$$

Dimana :

Q : Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu (Joule)

m : massa pada benda (kg)

c : kalor jenis pada benda (J/kg.°C)

dt : perubahan suhu $t_2 - t_1$ °C.

7. Perbedaan Suhu Rata-Rata Logaritmik (LMTD)

Perbedaan pada suhu rata-rata logaritma (bisa juga disebut LMTD) digunakan sebagai penentu gaya penggerak suhu sebagai perpindahan/transfer panas didalam aliran, utamanya pada alat penukar panas. LMTD adalah logaritma rata-rata yang diperoleh dari perbedaan/perubahan pada suhu antara aliran panas dan juga dingin pada setiap ujung alat

penukar panas. Semakin besarnya LMTD maka semakin banyak juga panas yang dipindahkan. pada LMTD muncul hanya pada analisa penukar panasnya dengan laju aliran yang konstan dan sifat *thermal* pada cairan. Persamaan aliran searah adalah:

$$LMTD : \frac{dT_1 - dT_2}{\ln \frac{dT_1}{dT_2}}$$

$$dT_1 : T_1 - t_1$$

$$dT_2 : T_2 - t_2$$

Persamaan aliran berlawanan arah adalah :

$$LMTD : \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$dT_1 : T_1 - t_2$$

$$dT_2 : T_2 - t_1$$

Dimana :

ΔT_1 : Selisih suhu antara T1 dan t2 (°C)

ΔT_2 : Selisih suhu antara T2 dan t1 (°C)

T1 : Suhu pada fluida panas masuk (°C)

T2 : Suhu pada fluida panas keluar (°C)

t1 : Suhu pada fluida dingin masuk (°C)

t2 : Suhu pada fluida dingin keluar (°C)

8. Koefisien perpindahan panas desain umum (U_d)

Koefisien perpindahan panas umum adalah aliran panas umum sebagai hasil dari proses gabungan konduksi dan konveksi. Koefisien perpindahan panas umum diberikan oleh U dengan satuan. Menyatakan:

$$U = \frac{Q}{A \times LMTD}$$

Dimana :

Q : Laju pada perpindahan panas actual (W)

A : Luas pada permukaan transfer kalor (cm^2)

LMTD : Log mean temperature difference (°C)

9. Metode NTU - ϵ

Efektivitas dapat diartikan yaitu laju perpindahan/transfer panas actual dengan perpindahan/transfer panas maks yang mungkin terjadi di didalam APK. Kesamaan antara efektivitas pada alat penukar panas dapat dikaitkan dengan NTU (*Number Of Transfer Unit*). Sebagai penentu efektifitas dan NTU pada umumnya dapat ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{maks}}$$

$$NTU = \frac{U \cdot A_s}{C_{min}} = \frac{U \cdot A_s}{(m \cdot C_p)_{min}}$$

Dimana :

Q : perpindahan panas aktual (W)

Q_{maks} : perpindahan panas maksimum yang bisa terjadi (W)

C_{min} : Kapasitas pada panas aliran minimum (W/°C)

$C_{p min}$: Panas jenis yang minimum (J/kg.K)

METODE PENELITIAN

Rencana Penelitian

Pada penelitian ini penulis mencoba menggunakan pendekatan kuantitatif, yang berupa data mentah penelitian yang berisi angka lalu kemudian dilakukan pengujian dengan analisa data statistik, biasa dihitung secara manual (hitung sendiri) atau bisa dengan bantuan *software computer*.

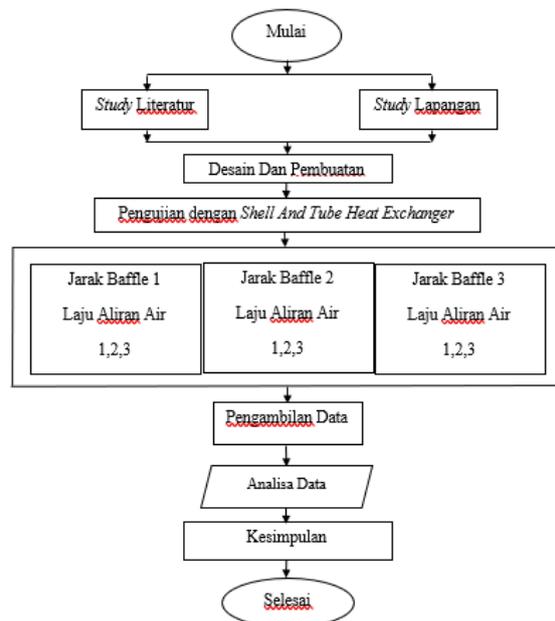
Pada waktu pengujian banyak data yang diambil secara manual seperti pengambilan data laju air dengan menggunakan bekas tempat minum untuk mengukur debit. Tetapi ada juga yang menggunakan alat otomatis yaitu *thermocouple*.

Pada pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan metode random dengan melakukan pengambilan data pengujian secara acak berdasarkan variabel. Dan untuk metode analisisnya menggunakan metode manual dengan cara menghitung semua data secara manual.

Pada penelitian yang akan dilakukan ada beberapa tahap. Yang pertama adalah menentukan diagram alir penelitian (*Flow chart*) yang digunakan untuk rencana kerja. Dilanjutkan dengan dipersiapkannya alat maupun bahan yang akan dibutuhkan, lalu pada tahap selanjutnya menentukan jarak *baffle* dan menghitung jumlah debit untuk dilakukan pengukuran laju aliran air. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada *boiler* panci presto sebagai fluida panas yang dimana menunggu suhu pans hingga 90°. Kemudian disiapkan *thermocouple* dan kertas

untuk mencatat suhu masuk maupun keluar pada fluida panas dan dingin. Untuk pengujian kedua dan ketiga sama seperti tahap pertama hanya dilakukan pergantian terhadap laju aliran dan jarak *baffle* yang digunakan. Setelah semua tahap terpenuhi maka akan di dapatkan hasil berupa data dari tiga pengujian diatas yang tujuannya untuk dianalisa dan mendapatkan suatu kesimpulan dari penelitian ini.

Flow Chart



3.1 Gambar *Flow Chart*

Variabel Penelitian

Pada saat pengujian akan dilakukan pengukuran suhu masuk dan keluar pada saluran masuk fluida panas maupun fluida dingin dengan menggunakan variabel 3 laju aliran fluida dingin terhadap jarak *baffle* yang telah ditentukan pada waktu 10 menit pengujian. Berikut adalah variabel penelitian yang digunakan :

3.1 Gambar Tabel Variasi Penelitian

KODE	JARAK BAFFLE	KODE	LAJU ALIRAN
A	8 cm	1	30 m/s
A	8 cm	2	40 m/s
A	8 cm	3	50 m/s
B	11 cm	1	30 m/s
B	11 cm	2	40 m/s
B	11 cm	3	50 m/s
C	14 cm	1	30 m/s
C	14 cm	2	40 m/s
C	14 cm	3	50 m/s

Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data akan didapatkan suhu masuk maupun keluar pada fluida dingin dan panas pada saat pengujian dan juga mengganti variabel seperti laju aliran dan jarak *baffle* secara bertahap sesuai rencana pengujian.

Prosedur Penelitian

1. Pertama siapkan rencana diagram alir, bahan dan alat alat yang diperlukan untuk melakukan penelitian.
2. mengukur debit air dan luas penampang pada laluan masuk maupun keluar sebagai tempat fluida masuk maupun keluar
3. pasang *baffle* dengan jarak yang sudah ditentukan sesuai rencana pengujian
4. memanaskan panci presto untuk mendapatkan suhu pada fluida panas sebesar 90°C
5. lakukan pengujian dengan mengalirkan fluida dingin dan juga fluida panas hingga waktu 10 menit
6. siapkan *thermometer* untuk mengukur suhu masuk maupun keluar pada fluida dingin dan fluida panas.
7. lakukan pengambilan data sesuai rencana dan variabel yang telah ditentukan. Apakah suhu keluar pada fluida dingin aman untuk digunakan sebagai pemanas air mandi yaitu sebesar 36-37°C
8. setelah selesai pengujian lakukan pengolahan data terhadap hasil dari pengujian

Analisa Data

Analisa dan data bertujuan untuk mendapatkan hasil suhu yang aman untuk air mandi. Nantinya analisa data ini berguna untuk membuat grafik ke efektifan dari alat penukar kalor tersebut.

Kesimpulan

Dari penelitian ini nanti bisa diberikan hasil dari penelitian yang dilakukan berdasarkan data maupun observasi yang telah saya lakukan menggunakan metode yang sesuai dengan standard pengujian.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian Performa Heat Exchanger Hasil pengujian performa heat exchanger sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Suhu Keluar *Heat Exchanger* Metode Random 13-06 Juni 2021

Kode	Random	Jarak Baffle	Laju Aliran	T2	t2
A2	1	8	40	63,4	44,4
B1	2	11	30	66,9	41,9
B3	3	11	50	69,8	40
A3	4	8	50	65,9	43,6
A1	5	8	30	62,3	44,5
A2	6	8	40	63,9	44,9
C3	7	14	50	74,7	37,5
C1	8	14	30	70,9	38,8
C2	9	14	40	72,3	38,4
B3	10	11	50	69,9	39,6
C2	11	14	40	72,8	37,9
C1	12	14	30	70,5	39
B2	13	11	40	67,2	41,9
B1	14	11	30	66,3	42,3
A1	15	8	30	62,5	45
A2	16	8	40	63,7	44
B2	17	11	40	67,6	41,4
B2	18	11	40	67,9	40,8
A1	19	8	30	62,7	45,6
A3	20	8	50	65,7	42,7
A3	21	8	50	65,8	43,1
B1	22	11	30	66,6	42,7
B3	23	11	50	69,5	40,5
C3	24	14	50	74,4	36,6
C2	25	14	40	72,5	38,1
C1	26	14	30	70,1	39,2
C3	27	14	50	74,5	37

Setelah didapatkan hasil data pengujian pertukaran panas dari variabel laju aliran air dan jarak *baffle*, selanjutnya data di urutkan sesuai kode seperti tabel berikut :

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian suhu keluar heat exchanger diurutkan sesuai kode dan abjad

Kode	Random	Jarak Baffle(cm)	Laju Aliran(cm/s)	T2(°C)	t2(°C)
A1	15	8	30	62,5	45
A1	5	8	30	62,3	44,5
A1	19	8	30	62,7	45,6
A2	1	8	40	63,4	44,4
A2	16	8	40	63,7	44
A2	6	8	40	63,9	44,9
A3	21	8	50	65,8	43,1
A3	4	8	50	65,9	43,6
A3	20	8	50	65,7	42,7
B1	14	11	30	66,3	42,3
B1	22	11	30	66,6	42,7
B1	2	11	30	66,9	41,9
B2	17	11	40	67,6	41,4
B2	13	11	40	67,2	41,9
B2	18	11	40	67,9	40,8
B3	3	11	50	69,8	40
B3	23	11	50	69,5	40,5
B3	10	11	50	69,9	39,6
C1	26	14	30	70,1	39,2
C1	12	14	30	70,5	39
C1	8	14	30	70,9	38,8
C2	25	14	40	72,5	38,1
C2	9	14	40	72,3	38,4
C2	11	14	40	72,8	37,9
C3	27	14	50	74,5	37
C3	7	14	50	74,7	37,5
C3	24	14	50	74,4	36,6

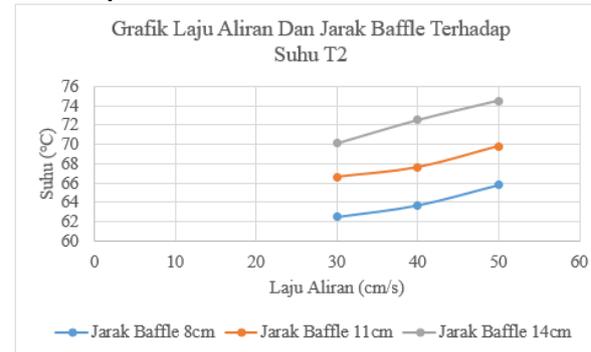
Hasil rata-rata pada pengujian suhu T2 dan t2 Dari data diatas didapatkan hasil rata rata pengujian pada suhu keluar fluida panas dan fluida dingin sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil rata rata pengujian pada suhu keluar *heat exchanger*

Kode	Jarak baffle	Laju aliran	T2	t2
A	8 cm	30 cm/s	62,5 °C	45, °C
A	8 cm	40 cm/s	63,7 °C	44,4 °C
A	8 cm	50 cm/s	65,8 °C	43,1 °C
B	11 cm	30 cm/s	66,6 °C	42,3 °C
B	11 cm	40 cm/s	67,6 °C	41,4 °C
B	11 cm	50 cm/s	69,8 °C	40 °C
C	14 cm	30 cm/s	70,1 °C	39,2 °C
C	14 cm	40 cm/s	72,5 °C	38,1 °C
C	14 cm	50 cm/s	74,5 °C	37 °C

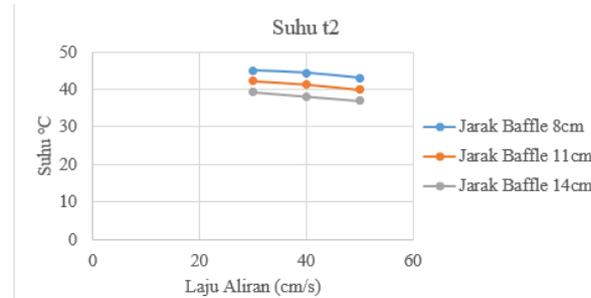
Dari tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa pada jarak *baffle* 8cm dan laju aliran 30,cm/s peningkatan performa dalam pertukaran panas sangat tinggi dimana t2 menyerap kalor hingga terjadi peningkatan suhu sebesar 12 °C dimana suhu awal masuk pada fluida dingin sebesar 29 °C dan T2 melepas kalor sebesar 27,5 °C dimana pada awal suhu masuk fluida panas sebesar 90 °C. Maka dari pengujian tersebut untuk menentukan pengaruh laju aliran air dan juga jarak *baffle* terhadap suhu keluar T2 yang dihasilkan oleh alat *Heat Exchanger* digambarkan pada grafik sebagai berikut :

4.1 Grafik Laju aliran dan jarak baffle terhadap T2



Dari tabel diatas menunjukkan bahwa laju aliran dan jarak *baffle* berpengaruh pada suhu T2 bahwa pada laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm mempunyai nilai suhu yang kecil dimana bisa diasumsikan bahwa pada keadaan tersebut alat penukar kalor *heat exchanger* bisa melepas kalor lebih banyak, sedangkan pada laju aliran 50 cm/s dan jarak *baffle* 14cm suhu T2 tinggi dimana dalam keadaan tersebut penukar kalor kurang bisa melepas banyak kalor. Dari sini kita bisa menyimpulkan bahwa semakin rendah laju aliran dan semakin sempit jarak *baffle* maka pelepasan kalornya tinggi dan sebaliknya.

4.2 Grafik Laju Aliran Dan Jarak Baffle Terhadap t2



Dari gambar 4.2 diatas menunjukkan suhu t2 pada laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm mengalami peningkatan suhu yang besar karena semakin lambat aliran maka semakin lama kontak kedua fluida, sedangkan pada laju aliran 50 cm/s dan jarak *baffle* 14cm kenaikan suhunya paling kecil karena semakin singkat waktu kontak kedua fluida. Dari sini kita bisa menyimpulkan bahwa semakin rendah laju aliran dan semakin sempit jarak *baffle* maka penyerapan kalornya tinggi dan sebaliknya.

Perhitungan Laju Perpindahan Panas (Q)

Pengujian dalam waktu 20 menit dengan variasi laju air terhadap jarak *baffle* 8 cm

laju aliran air 30 cm/s

Laju perpindahan kalor fluida dingin (Q_c)

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot \Delta t$$

$$\dot{m}_c = \rho \cdot v \cdot A$$

$$= 1 \text{ g/cm}^3 \cdot 30 \text{ cm/s} \cdot 0,4 \text{ cm}^2$$

$$= 12 \text{ g/s}$$

$$c_{p,c} = 4,2 \text{ j/g}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = t_2 - t_1 = 45^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C}$$

$$= 16^\circ\text{C}$$

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot \Delta t$$

$$= 12 \text{ g/s} \cdot 4,2 \text{ j/g}^\circ\text{C} \cdot 16^\circ\text{C}$$

$$= 806 \text{ W}$$

Laju perpindahan kalor fluida panas (Q_h)

$$Q = Q_h = Q_c$$

$$Q_h = \dot{m}_h \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = (h_1 - h_2) = 2659 - 2611$$

$$= 48 \text{ j/g}$$

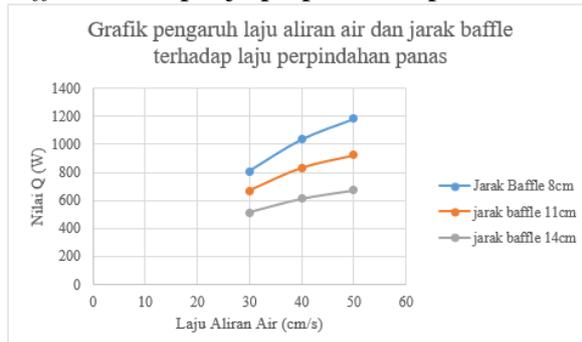
$$c_{p,h} = 2 \text{ g/s}$$

$$\dot{m}_h = \frac{Q_h}{c_{p,h} \cdot (h_1 - h_2)}$$

$$= \frac{806}{2 \cdot 48}$$

$$= 8,3 \text{ g/s}$$

4.3 Grafik Pengaruh laju aliran air dan jarak *baffle* terhadap laju perpindahan panas



Dari data laju perpindahan panas diatas bisa diperoleh nilai terkecil laju perpindahan panas pada laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 14 cm yaitu sebesar 514 W, sedangkan nilai terbesar laju perpindahannya pada aliran 50 cm/s dan jarak *baffle* sebesar 8 cm dengan nilai sebesar 1184 W. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran pada fluida maka laju aliran pada massanya juga akan semakin membesar dan akan berpengaruh pada laju

perpindahannya. Semakin sempit jarak *baffle* maka kontak perpindahan panas antara fluida yang dingin dan fluida yang panas akan lebih lama sehingga laju perpindahan panasnya akan meningkat.

Beda Pada Temperatur Rata-rata Logaritmik (LMTD)

Beda temperatur rata rata logaritmik pada variasi laju aliran dengan jarak *baffle* 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

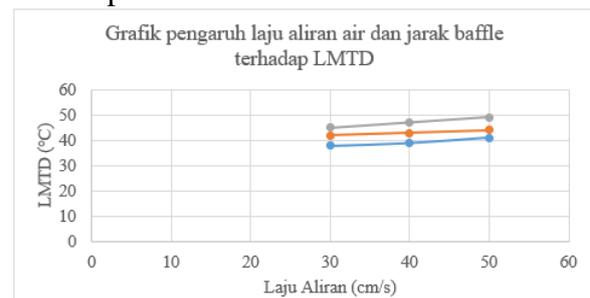
$$\Delta T_1 = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1$$

$$= \frac{(90-45) - (62,5-29)}{\ln \frac{(90-45)}{(62,5-29)}}$$

$$= 38^\circ\text{C}$$

4.4 Grafik Pengaruh laju air dan jarak *baffle* terhadap LMTD



Dari data LMTD diatas bisa diperoleh suhu LMTD terkecil pada laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm yaitu sebesar 38 °C dan nilai terbesar ada pada laju aliran 50 cm/s dan jarak *baffle* 14 cm yaitu dengan suhu 49°C. Rendahnya angka pada LMTD bisa disebabkan dari efek pasang *baffle* yang sempit maka selisih pada temperatur rata-rata logaritmiknya antara fluida sebagai pemanas dengan fluida yang akan dipanaskan semakin kecil pada sisi masuk dan juga keluar. Maka dari itu pelepasan pada panas (*heat losses*) semakin sedikit yang terbuang menjadikan penyerapan pada panas oleh alat sebaliknya akan menjadi tinggi.

Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Desain (U_d)

Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh pada variasi laju aliran cm/s dengan jarak baffle 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

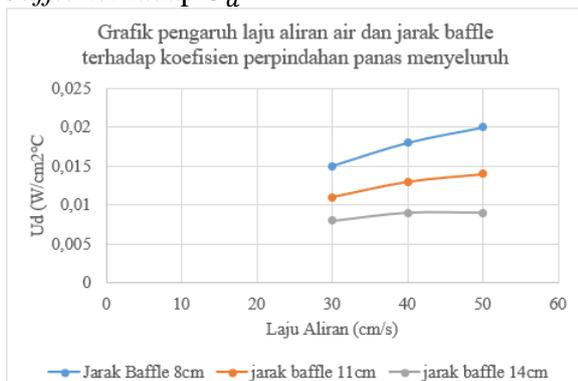
$$U_d = \frac{q}{A \times LMTD}$$

A = Luas permukaan perpindahan kalor (cm^2)

$$\begin{aligned} &= Nt \cdot L \cdot \pi \cdot D_{o,t} \\ &= 10 \cdot 50 \text{ cm} \cdot 3,14 \cdot 0,9 \text{ cm} \\ &= 1413 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$U_d = \frac{806 \text{ W}}{1413 \text{ cm}^2 \cdot 38^\circ\text{C}} = 0,015 \text{ W/cm}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

4.5 Grafik pengaruh laju aliran dan jarak baffle terhadap U_d



Dari analisa data diatas koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dipengaruhi oleh besarnya nilai Qaktual dimana pada laju aliran 50 cm/s dan jarak baffle 8 cm adalah yang paling tinggi dengan nilai 0,02 $W/cm^2\text{ }^\circ\text{C}$.

Laju Kapasitas Kalor (C)

Laju kapasitas kalor pada variasi laju aliran dengan jarak baffle 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_c \cdot C_{p,c} \\ &= 12 \text{ g/s} \cdot 4,2 \text{ j/g}^\circ\text{C} \\ &= 51 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_h &= \dot{m}_h \cdot C_{p,h} \\ &= 8,3 \text{ g/s} \cdot 2 \text{ j/g}^\circ\text{C} \\ &= 16,6 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

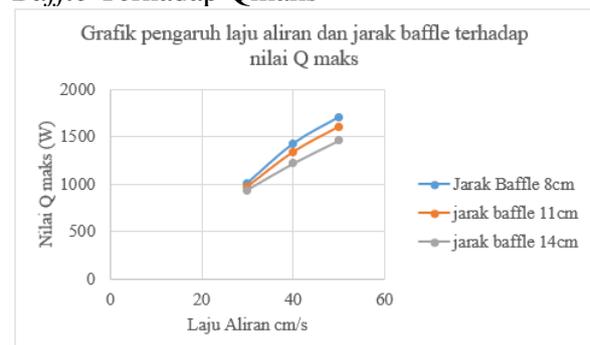
Laju Perpindahan Kalor Maksimum (q_{maks})

Laju perpindahan kalor maksimum pada variasi laju aliran dan jarak baffle 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

$$\begin{aligned} q_{maks} &= C_{min} (T_1 - t_1) \\ &= 16,6 \text{ W/}^\circ\text{C} (90 - 29)^\circ\text{C} \\ &= 1012 \text{ W} \end{aligned}$$

4.6 Grafik Pengaruh Laju Aliran Dan Jarak Baffle Terhadap Q_{maks}



Dari data laju perpindahan panas maksimum diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju aliran air dan semakin sempit jarak baffle berpengaruh terhadap q_{maks} . Dimana seiring meningkatnya laju aliran fluida dingin dan semakin sempit jarak baffle maka akan meningkatkan nilai q_{maks} . Nilai Q_{maks} tertinggi ada pada laju aliran 50cm/s dan jarak baffle 8cm dengan nilai 1708 W.

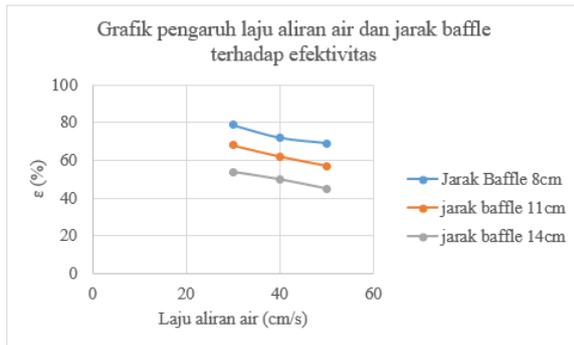
Efektivitas Alat Penukar Kalor (ϵ)

Efektivitas alat penukar kalor pada variasi laju aliran dan jarak baffle 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{q_{aktual}}{q_{maks}} \times 100\% \\ &= \frac{806 \text{ W}}{1012 \text{ W}} \times 100\% \\ &= 79\% \end{aligned}$$

4.7 Grafik Pengaruh Laju Aliran Dan Jarak Baffle Terhadap Efektivitas



Dari data efektivitas pada alat *heat exchanger* dapat diambil kesimpulan bahwa semakin sempit jarak *baffle* nya akan membuat peningkatan nilai efektivitas pada alat penukar kalor. Dari grafik diatas didapatkan nilai efektivitas tertinggi pada jarak *baffle* 8cm yaitu sebesar 79%.

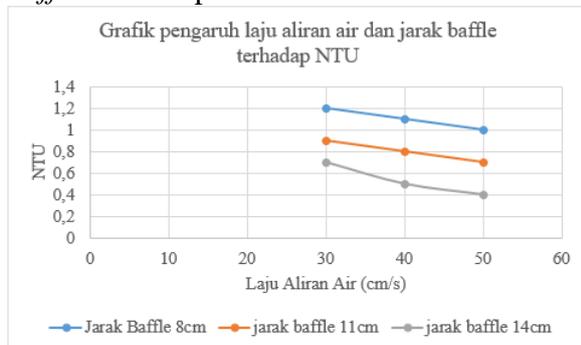
Number Of Transfer Unit (NTU)

Nilai NTU pada variasi laju aliran dan jarak *baffle* 8 cm

Laju aliran 30 cm/s

$$\begin{aligned} NTU &= \frac{UA}{C_{min}} \\ &= \frac{0,015 \frac{W}{cm^2} \cdot C \cdot 1413 cm^2}{16,6 W/^{\circ}C} = 1,2 \end{aligned}$$

4.8 Grafik Pengaruh Laju Aliran Dan Jarak Baffle Terhadap NTU



Dari Analisa data pada perhitungan nilai NTU bisa disimpulkan bahwa nilai NTU dipengaruhi oleh nilai laju kapasitas kalor pada fluida panas, dimana semakin kecil nilai C min maka semakin besar nilai NTU begitupun sebaliknya. Pada jarak *baffle* 8cm didapatkan laju kapasitas kalor terkecil yang akan meningkatkan nilai NTU yaitu sebesar 1,2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil analisa diatas bisa disimpulkan bahwa laju aliran dan jarak *baffle* berpengaruh terhadap performa *heat exchanger* yaitu nilai efektivitas paling baik bilamana menggunakan laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm dengan nilai efektivitas sebesar 79%, untuk laju perpindahan kalor yang paling besar adalah pada variasi laju aliran air 50 cm/s dan jarak *baffle* 8 cm dengan nilai perpindahannya sebesar 1184 W dan menghasilkan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh sebesar $0,02 W/cm^2 \cdot ^{\circ}C$. Nilai NTU yang paling besar ada pada variasi laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8 cm. jadi untuk kesimpulan keseluruhan dari pengujian ini bahwa penggunaan laju aliran 30 cm/s dan jarak *baffle* 8cm adalah yang terbaik dalam melepas ataupun menerima kalor dari yang lain.

Saran kedepannya adalah harus dilakukan pemilihan material yang tepat untuk memberikan perpindahan panas yang maksimal terlebih dahulu supaya alat *heat exchanger* bekerja dengan optimal dan perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait hubungan laju aliran dan jarak *baffle* terhadap efektivitas perpindahan kalor.

REFERENSI

- Khairuddin, 2018. "Design Of Heat Exchanger Type Shell And Tube", Skripsi, Faculty Of Vocation, Instrumentation Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wafi B, dkk, 2011. "Rancang Bangun, Heat Exchanger Shell And Tube SinglePass", Fakultas Teknik, Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- I. Bizzy & R. Setiadi, 2013. "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc", Jurnal Rekayasa Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

- J.P Holman, "Heat Transfer Tenth Edition", Department Of Mechanical Engineering, Southern Methodist University.
- Sihombing F, 2018. "Uji Eksperimental Pengaruh Baffle Spacing Pada Keefektivan Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Lalan Tunggal", Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Handoyo E.A. "Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell And Tube Heat Exchanger", Jurnal Teknik Mesin, Vol. 2, No. 2, Oktober 2000: 86 – 90.
- Luqman Buchori, "Perpindahan Panas (*Heat Transfer*)", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNDIP Semarang.
- Darlinton Hasibuan, 2019. "Simulasi Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Untuk Pendingin Minyak Pelumas (Oli) Dengan Fluida Pendingin Air", Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Aprilino, Kurnia Iqbal, 2016. "Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efisiensi Alat Penukar Panas (*Effect Of Flow Rate To Efficiency Of Heat Exchanger*). Undergraduate thesis, UNDIP.
- Arsana & Agista, "Uji Eksperimental Pengaruh Temperatur Dan Fraksi Volume Terhadap perpindahan Kalor Konveksi NanoFluida Air- Al_2O_3 Pada Pada Shell And Tube Heat Exchanger", Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya.
- Adhitiya & Ichسانی, "Simulasi Performansi Heat Exchanger Type Shell And Tube Dengan Double Segmental Baffle Terhadap Helical Baffle", Jurnal Teknik Mesin, Vol.2, No.3, (2013) ISSN: 2337-3539.
- Arsana, dkk, "The Influence of Baffle Gap to The Effectiveness of Shell and Tube Heat Exchanger with Helical Baffle", Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Science and Technology 2019.
- Barun A & Rukmana E. "Analisis Performansi Pada Heat Exchanger Jenis Shell And Tube Heat Tipe Bem Dengan Menggunakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas", Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Fadillah M, 2018. "Analisis Penukar Kalor Tipe Helical Dengan Program Heat Transfer Research Inc", Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- Harini, 2017. "Analisis Perhitungan Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Pipa Ganda Di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta", Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta.
- Said Jalal, 2017. "Analisa Penukar Kalor Shell dan tube Dengan Memamfaatkan Gas Buang Mesin Diesel Aliran didalam Pipa", *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*.
- Herman Susanto, 2017. "Perancangan Oven Pengereng Batu Bata Skala Labor Dengan Kapasitas 100 Buah/Siklus", Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian.
- Azwinur, Zulkifli, 2019. "Kaji Eksperimental Pengaruh *Baffle* Pada Alat Penukar Panas Aliran Searah Dalam Upaya Optimasi Sistem Pengereng", Sintek Jurnal, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 13(1):8.
- Rouf Muhammad, 2019. "Studi Eksperimen Pengujian *Heat Exchanger Cross Flow Circular Fin Tube* Variasi *Mass Flow Rate* Fluida Dingin", Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chandra W, Eky W, 2017. "Perancangan *Eco Heat Exchanger Type 1-2 Shell And Tube* Dan Pengaruh Jumlah *Baffle* Terhadap Transfer Panas", Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.
- Yulita A, 2014. "Pengaruh Penrapan Metode Inquiry Terhadap Pemahaman Konsep Dan Minat Belajar Siswa Kleas XI Pada Materi Viskositas Zat Cair Di SMA Negeri 1 Waingapu", Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sanata Dharma.