

BAB III METODE PENELITIAN

1.21 Jenis Penelitian

Jenis penelitian dalam rancang bangun alat penukar panas (*heat exchanger*) untuk menghitung koefisien panas *universal* (U) dan $\Delta LMTD$ (*Log Mean Temperature Difference*) dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama:

1. Penelitian Eksperimental:

- **Metode Pengukuran Langsung:**
 - Mengukur temperatur fluida inlet dan outlet, laju aliran, dan luas permukaan penukar panas secara langsung.
 - Menghitung U dan $\Delta LMTD$ menggunakan persamaan fundamental perpindahan panas.
- **Teknik Visualisasi Aliran:**
 - Mengamati pola aliran fluida dalam penukar panas menggunakan pewarna atau partikel kecil.
 - Memahami distribusi temperatur dan meningkatkan performa penukar panas.
- **Pengukuran Tekanan:**
 - Mengukur penurunan tekanan di sisi fluida untuk memperkirakan resistensi aliran dan membantu menghitung U .

2. Penelitian Simulasi Numerik:

- **Metode Dinamika Fluida Komputasi (CFD):**

- Memodelkan aliran fluida dan perpindahan panas dalam penukar panas secara detail.
- Menganalisis distribusi temperatur dan performa penukar panas dengan lebih mendalam.
- **Metode Analisis Elemen Hingga (FEA):**
 - Menganalisis tegangan dan deformasi pada struktur penukar panas.
 - Memastikan keandalan dan keamanan penukar panas.

Penelitian Gabungan:

- Menggabungkan metode eksperimental dan simulasi numerik untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.
- Verifikasi hasil simulasi numerik dengan data eksperimental.
- Memperoleh informasi yang tidak dapat diperoleh dari simulasi atau eksperimen saja.

1.22 Rancangan Alat Penukar Kalor

Tahapan Rancangan:

1. **Definisikan Persyaratan:**

- Jenis fluida dan sifat-sifatnya (temperatur, tekanan, laju aliran, viskositas).
- Kapasitas perpindahan panas yang dibutuhkan (kW).
- Perbedaan temperatur awal antara fluida panas dan fluida dingin (ΔT).
- Kendala ruang dan biaya.

2. **Pilih Jenis Penukar Panas:**

- Penukar panas pelat (plate heat exchanger): Cocok untuk aplikasi berbiaya rendah dan ruang terbatas.
- Penukar panas shell and tube: Cocok untuk aplikasi dengan tekanan tinggi dan kapasitas perpindahan panas besar.
- Penukar panas jenis lain (double-pipe, helical, finned-tube): Cocok untuk aplikasi spesifik.

3. **Dimensikan Penukar Panas:**

- Hitung luas permukaan perpindahan panas (A) menggunakan persamaan perpindahan panas:
- $Q = UA\Delta T_{lm}$
- Pilih dimensi geometri penukar panas (panjang, diameter, jumlah pelat/pipa) berdasarkan A dan persyaratan ruang.

4. **Hitung Koefisien Panas *Universal* (U):**

- Gunakan metode teoritis (persamaan *Dittus-Boelter*, *Nusselt*) untuk fluida konveksi paksa.
- Gunakan metode simulasi numerik (*CFD*) untuk geometri kompleks atau fluida non-Newtonian.
- Gunakan data eksperimen jika tersedia.

5. **Hitung $\Delta LMTD$ (*Log Mean Temperature Difference*):**

- Gunakan persamaan $\Delta LMTD$ untuk jenis penukar panas yang dipilih.
- Pertimbangkan konfigurasi aliran (cocurrent, countercurrent).

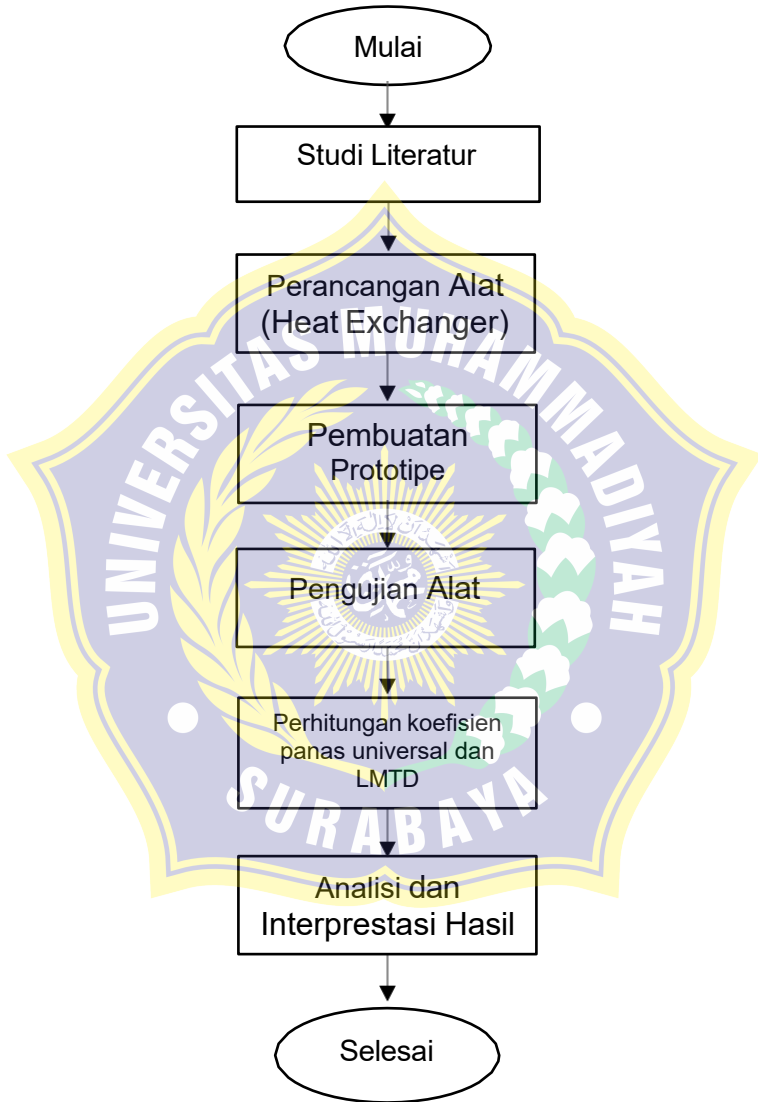
6. Evaluasi Desain:

- Periksa apakah desain memenuhi persyaratan perpindahan panas.
- Pastikan tegangan dan deformasi pada struktur penukar panas berada dalam batas aman.
- Lakukan analisis ekonomi untuk mempertimbangkan biaya material, manufaktur, dan operasi.

Pertimbangan Tambahan:

- **Faktor Pengotoran (*Fouling Factor*):** Pertimbangkan fouling factor dalam desain untuk memperkirakan penurunan kinerja penukar panas seiring waktu.
- **Material:** Pilih material yang tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas termal tinggi, dan kuat secara mekanis.
- **Manufaktur:** Pertimbangkan metode manufaktur yang sesuai dengan material dan geometri penukar panas.
- **Pengujian dan Kontrol Kualitas:** Lakukan pengujian untuk memastikan kinerja penukar panas sesuai dengan desain dan spesifikasi.

1.23 Flowchart



1.24 Prosedur Uji Coba

1. Prosedur Uji Coba *Heat Exchanger*

Prosedur uji coba *heat exchanger* dapat bervariasi tergantung pada jenis *heat exchanger* dan tujuan pengujian. Namun, secara umum, berikut adalah langkah-langkah umum yang dapat dilakukan:

Persiapan:

2. **Siapkan *heat exchanger*:** Pastikan *heat exchanger* dalam kondisi bersih dan bebas dari kerusakan.
3. **Siapkan fluida:** Siapkan fluida panas dan dingin yang akan digunakan dalam pengujian. Pastikan fluida tersebut memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi *heat exchanger*.
4. **Siapkan peralatan:** Siapkan peralatan yang diperlukan untuk mengukur suhu, tekanan, dan laju aliran fluida. Peralatan ini dapat berupa termometer, manometer, flowmeter, dan data logger.
5. **Siapkan rancangan pengujian:** Rancanglah rencana pengujian yang mencakup variabel yang akan diuji, rentang variabel, dan metode pengukuran.

Pelaksanaan:

1. **Hubungkan *heat exchanger* ke sistem:** Hubungkan *heat exchanger* ke sistem fluida

panas dan dingin. Pastikan semua sambungan terpasang dengan benar dan tidak bocor.

2. **Nyalakan pompa:** Nyalakan pompa untuk mengalirkan fluida melalui *heat exchanger*.
3. **Atur laju aliran fluida:** Atur laju aliran fluida panas dan dingin sesuai dengan rancangan pengujian.
4. **Ukur suhu, tekanan, dan laju aliran fluida:** Ukur suhu, tekanan, dan laju aliran fluida di inlet dan outlet *heat exchanger*. Catat data pengukuran secara berkala.
5. **Ulangi langkah 3 dan 4 untuk variasi variabel yang lain:** Ulangi langkah 3 dan 4 untuk variasi variabel lain yang ingin diuji, seperti temperatur fluida, laju aliran fluida, dan jenis fluida.

Analisis data:

1. **Hitung nilai-nilai yang diperlukan:** Hitung nilai-nilai yang diperlukan, seperti koefisien perpindahan panas, efektivitas *heat exchanger*, dan kapasitas panas.
2. **Buat grafik dan tabel:** Buat grafik dan tabel untuk menunjukkan hasil pengujian.
3. **Analisis hasil:** Analisis hasil pengujian untuk menarik kesimpulan tentang kinerja *heat exchanger*.

1.25 Metode Analisa

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisis heat exchanger, antara lain:

Metode Analitik

Metode analitik menggunakan persamaan matematika untuk menghitung kinerja heat exchanger. Persamaan ini didasarkan pada prinsip-prinsip perpindahan panas, mekanika fluida, dan termodinamika. Beberapa persamaan yang umum digunakan adalah:

- **Persamaan Perpindahan Panas:** $Q = \frac{U}{A \Delta T_m}$
- **Persamaan Faktor Pengotoran:** $Rf = \frac{U_d}{U_c}$
- **Persamaan Efisiensi:** $\eta = \frac{Q}{Q_c}$

Metode analitik dapat digunakan untuk memprediksi kinerja *heat exchanger* dengan akurasi yang cukup tinggi. Namun, metode ini memerlukan data yang akurat tentang geometri heat exchanger, sifat fluida, dan kondisi operasi. (Rais Zain et al., 2020)

Metode Numerik

Metode numerik menggunakan simulasi komputer untuk menghitung kinerja heat exchanger. Simulasi ini didasarkan pada persamaan matematika yang sama dengan metode analitik, tetapi mereka dapat mempertimbangkan faktor-faktor yang sulit untuk

dimodelkan secara analitik, seperti geometri yang kompleks dan aliran turbulen.

Beberapa metode numerik yang umum digunakan adalah:

- **Metode Perbedaan Hingga:** Metode ini membagi heat exchanger menjadi elemen-elemen kecil dan kemudian menghitung perpindahan panas antara elemen-elemen tersebut.
- **Metode Dinamika Fluida Komputasi (CFD):** Metode ini menggunakan persamaan *Navier-Stokes* untuk memodelkan aliran fluida dalam heat exchanger.

Metode numerik dapat digunakan untuk menganalisis *heat exchanger* dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi daripada metode analitik. Namun, metode ini membutuhkan komputer yang kuat dan waktu komputasi yang lama.

Metode Eksperimental

Metode eksperimental melibatkan pengujian heat exchanger yang sebenarnya untuk mengukur kinerjanya. Pengujian ini dapat dilakukan di laboratorium atau di lapangan.

Beberapa metode eksperimental yang umum digunakan adalah:

- **Metode Kalorimetri:** Metode ini mengukur jumlah panas yang ditransfer antara fluida panas dan dingin.

- **Metode Termografi:** Metode ini menggunakan kamera inframerah untuk mengukur suhu permukaan *heat exchanger*.

Metode eksperimental dapat memberikan data yang paling akurat tentang kinerja *heat exchanger*. Namun, metode ini bisa mahal dan memakan waktu.

Pemilihan Metode

Metode yang terbaik untuk menganalisis heat exchanger tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan termasuk:

- **Tingkat akurasi yang diperlukan:** Jika diperlukan akurasi yang tinggi, metode numerik atau eksperimental mungkin diperlukan.
- **Ketersediaan data:** Jika data tentang geometri heat exchanger, sifat fluida, dan kondisi operasi tidak tersedia, metode analitik mungkin satu-satunya pilihan.
- **Sumber daya yang tersedia:** Metode numerik dan eksperimental dapat mahal dan memakan waktu, sehingga mungkin tidak praktis untuk semua aplikasi. (Wable et al., 2024)