

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem bangunan modern, kebutuhan akan efisiensi energi dan kenyamanan terhadap suhu ruangan menjadi perhatian utama. Menurut data dari laporan akhir *Benchmarking Specific Energy Consumption pada Bangunan Komersial 2020* yang diterbitkan oleh Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE-BPPT), menunjukkan bahwa pengkondisian udara merupakan pengguna energi terbesar di berbagai jenis gedung komersial. Pada hotel, sistem pengkondisian udara menyumbang 66,3% dari konsumsi energi total, diikuti oleh rumah sakit sebesar 63,9%, pusat perbelanjaan 62,9%, dan gedung perkantoran sebesar 64,1%. Angka-angka ini menunjukkan bahwa mayoritas energi dihabiskan untuk menjaga suhu dan kualitas udara dalam ruangan tetap nyaman[1].

Oleh karena itu, peningkatan efisiensi sistem HVAC melalui teknologi yang hemat energi dan otomatisasi menjadi langkah dalam mendukung penghematan energi secara keseluruhan. Salah satu aspek penting dalam sistem HVAC adalah kemampuan untuk memantau dan mengontrol suhu serta tekanan secara akurat demi menjaga kenyamanan lingkungan kerja, mengurangi waktu henti operasional, dan memperpanjang umur peralatan. Untuk mencapai hal ini, diperlukan integrasi teknologi kontrol dan sistem monitoring dalam subkomponen utama HVAC seperti *air cooled chiller*.

Air cooled chiller telah menjadi kebutuhan umum pada gedung perkantoran dan mall di kota besar dikarenakan *air cooled chiller* lebih efisien dibandingkan ac split. Pada dasarnya prinsip kerja *air cooled chiller* sama dengan refrigerasi kompresi uap pada umumnya. *Air cooled chiller* sendiri merupakan sistem refrigeran yang memiliki refrigeran sekunder berupa air pada unit AHU (*Air Handling Unit*) untuk didistribusikan ke tiap ruangan. Air dingin ini di distribusikan ke unit AHU dengan media pipa yang di isolasi untuk menjaga suhu di dalam pipa konstan. Selain itu, pengendalian suhu dan tekanan yang stabil merupakan syarat utama dalam menjaga performa sistem agar sesuai dengan spesifikasi operasional[2].

Kinerja sistem pendingin tradisional yang masih bergantung pada kontrol manual cenderung mengalami *inefisiensi* energi dan ketidakkonsistenan suhu cairan pendingin. Dampak teknis dari kondisi tersebut meliputi penurunan kualitas pendinginan, peningkatan keausan komponen, serta potensi kerusakan pada peralatan yang bergantung pada suhu tertentu. Dalam konteks operasional industri skala menengah dan kegiatan laboratorium yang membutuhkan stabilitas *termal*, pendekatan ini menjadi kurang dapat diandalkan. Solusi berbasis PLC dan sensor suhu RTD PT100 serta sensor tekanan Wisner WPT-71G Series untuk pembacaan parameter yang konsisten dan dapat diintegrasikan untuk mengatasi batasan tersebut melalui otomatisasi dan pemantauan *real-time*[3].

Permasalahan pengendalian suhu dan tekanan yang tidak optimal tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga berkaitan dengan isu efisiensi energi dan lingkungan. Menurut Dzulkarnaen et al. (2019) peningkatan permasalahan lingkungan saat ini yang meliputi pemanasan global, penipisan lapisan ozon, dan pemborosan energi disebabkan oleh penggunaan senyawa jenis hydrochloroflourocarbon pada refrigeran. Refrigerant R-404A menjadi salah satu alternatif refrigeran dalam sistem pendingin meskipun memiliki potensi pemanasan global yang relatif tinggi, masih digunakan secara luas karena karakteristik termodinamika dan kestabilannya dalam berbagai beban kerja. Oleh karena itu, desain sistem refrigeran yang terintegrasi dengan sensor suhu dan tekanan menjadi bagian penting dalam mendukung efisiensi energi dan transisi menuju sistem kendali otomatis yang lebih adaptif[4].

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang terbagi menjadi tiga fokus utama: pertama, perancangan sistem refrigerasi; kedua, sistem *water cooling* dan *Air Handling Unit* (AHU) sebagai pendukung distribusi udara dingin; dan ketiga, pengembangan sistem HMI untuk visualisasi dan untuk pengambilan data. Penelitian ini secara khusus hanya berfokus pada perancangan dan pembangunan sistem refrigerasi yang berperan sebagai inti dari proses pendinginan. AHU dan sistem HMI akan dibahas lebih lanjut dalam penelitian terpisah sebagai lanjutan dari sistem utama ini. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan setiap bagian

dari sistem dikembangkan secara mendalam secara teknis sebelum integrasi menyeluruh dilakukan.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa sistem kendali telah diterapkan dalam berbagai aplikasi HVAC. Dalam literatur *smart mini water chiller* berbasis termoelektrik oleh Mutaufik et al. (2024) menggunakan termoelektrik yang hanya bisa digunakan proyek skala kecil dan lebih sering diterapkan pada sistem pendingin portabel, alat medis, atau proyek yang membutuhkan pendinginan tanpa kompresor atau konversi panas menjadi listrik[5]. Sedangkan literatur oleh Mahameru et al. (2024) dengan konteks sistem SCADA pada *water chiller* hidroponik berbasis PLC Siemens hanya fokus dalam ruang lingkup hidroponik dan tidak terlalu dalam membahas tentang *water chiller*[6]. Dalam literatur lain oleh Samuel (2018) tentang rancang bangun *water chiller* masih difokuskan pada skala besar dan belum mengembangkan kontrol dan integrasi sensor suhu dan tekanan dalam sistem *water chiller*[7]. Berdasarkan beberapa literatur diatas menunjukkan adanya ruang untuk pengembangan sistem *mini air cooled chiller* untuk ruangan dengan kontrol yang lebih menyeluruh berbasis refrigerant R-404A.

Pengembangan *mini air cooled chiller* ini nantinya digunakan integrasi sensor tekanan Wisner WPT-71G Series dan sensor suhu RTD PT100 yang dikendalikan oleh PLC Schneider sebagai kontrol utama dalam sistem ini. Fokus penelitian yang diarahkan pada sistem refrigerasi ini diharapkan menjadi fondasi utama bagi pengembangan sistem lanjutan seperti AHU dan SCADA HMI. Selain itu diharap dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi pendinginan pada sektor pendidikan teknik, industri berskala kecil, dan laboratorium penelitian .

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diidentifikasi rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang sistem refrigerasi untuk *mini air cooled chiller* menggunakan refrigeran R-404A?
- b. Bagaimana mengintegrasikan sensor tekanan Wisner WPT-71G Series dan sensor suhu RTD PT100 secara efektif dalam sistem refrigerasi untuk *mini air cooled chiller* berbasis PLC Schneider Modicon TM241CE24T?

- c. Bagaimana akurasi dan kestabilan data pengukuran suhu dan tekanan yang diperoleh dari sensor RTD PT100 dan Wisner WPT-71G Series saat dikendalikan oleh PLC TM241CE24T dalam rentang operasi yang telah ditentukan?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Merancang sistem refrigerasi pada *mini air cooled chiller* menggunakan refrigeran R-404A yang sesuai dengan prinsip kerja termodinamika dan kebutuhan pendinginan berskala kecil.
- b. Mengembangkan integrasi sensor tekanan Wisner WPT-71G Series dan sensor suhu RTD PT100 ke dalam sistem kendali otomatis berbasis PLC untuk mendukung pemantauan suhu dan tekanan.
- c. Menganalisis tingkat akurasi dan kestabilan data pengukuran suhu dan tekanan dari sensor RTD PT100 dan Wisner WPT-71G Series dalam kondisi operasi yang ditentukan.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Penelitian ini memberikan manfaat terhadap pengembangan di bidang sistem pendingin otomatis dan kendali berbasis PLC, dengan cara berikut

- a. Menghasilkan rancangan sistem refrigerasi *mini air cooled chiller* menggunakan refrigeran R-404A yang dapat diterapkan secara praktis di lingkungan industri skala kecil dan laboratorium.
- b. Menyediakan acuan teknis dalam integrasi sensor suhu RTD PT100 dan sensor tekanan Wisner WPT-71G Series ke dalam sistem pengendalian otomatis berbasis PLC.
- c. Menyumbang data terkait akurasi dan kestabilan pengukuran suhu dan tekanan yang berguna untuk pengembangan teori sistem kendali suhu dan tekanan.
- d. Menjadi dasar pengembangan lebih lanjut sistem pendingin menggunakan AHU berbasis SCADA/HMI atau sistem HVAC terintegrasi yang efisien dan mudah dikendalikan.

1.5 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus untuk menghindari pembahasan yang meluas, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a. Penelitian ini hanya difokuskan pada rancang bangun dan pengujian sistem refrigerant untuk *mini air cooled chiller* yang menggunakan refrigerant R-404A, tanpa mencakup sistem distribusi udara (AHU) atau sistem antarmuka SCADA/HMI.
- b. Sistem refrigerasi dirancang dengan kapasitas kompresor 0,5 PK (*Paar den Kracht*) atau ± 372 Watt.
- c. Sistem kendali yang digunakan terbatas pada PLC Schneider Modicon TM241CE24T yang berfungsi mengendalikan proses pendinginan berbasis data dari dua sensor utama, yaitu sensor tekanan Wisner WPT-71G Series dan sensor suhu RTD PT100.
- d. Sistem otomatisasi hanya menggunakan logika dan *function block* PLC, tanpa melibatkan kontrol lanjutan seperti PID (*Proportional-Integral-Derivative*).
- e. Data kuantitatif yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup akurasi pengukuran suhu dan tekanan, respon sistem terhadap perubahan suhu/tekanan, serta stabilitas kerja sistem dalam siklus pendinginan.
- f. Kontrol sistem refrigerasi menggunakan kontrol On/Off histerisis dan dapat diatur pada *set value* 0°C hingga 10°C dan rentang histerisis dapat diatur di 10°C hingga 20°C.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar pembahasan lebih terstruktur dan mudah dipahami. Adapun sistematika tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang dari pentingnya sistem pendingin berbasis refrigeran R-404A untuk *mini air cooled chiller* serta isu-isu terkait efisiensi energi dan pengendalian suhu dan tekanan. Bab ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian baik secara teoritis maupun praktis,

serta batasan penelitian yang menjelaskan ruang lingkup dan fokus sistem yang dikembangkan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini membahas teori-teori dasar dan konsep yang mendukung perancangan sistem pendingin dan pengendalian otomatis. Uraian mencakup prinsip kerja sistem refrigerasi, karakteristik refrigeran R-404A, fungsi sensor suhu RTD PT100, sensor tekanan Wisner WPT-71G Series, serta sistem kendali berbasis PLC

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan pendekatan penelitian, jenis data yang digunakan, dan proses pengumpulan serta analisis data. Penjelasan mencakup alur perancangan sistem, pemilihan komponen, pemrograman PLC, dan tahapan pengujian. Disertakan pula gambaran visual sistem berupa diagram blok, wiring, serta deskripsi fabrikasi fisik dari *mini air chiller*. Seluruh proses didokumentasikan secara sistematis untuk mendukung replikasi dan evaluasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem refrigeran *mini air cooled chiller* yang telah dirancang. Analisis dilakukan terhadap parameter suhu dan tekanan yang dikontrol oleh PLC, serta akurasi pembacaan dari sensor RTD PT100 dan Wisner WPT-71G Series. Pembahasan difokuskan pada performa sistem, kestabilan operasional, dan efisiensi pendinginan yang dihasilkan. Hasil tersebut dianalisis berdasarkan tujuan dan rumusan masalah yang telah ditetapkan di bab sebelumnya.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, termasuk pencapaian terhadap tujuan yang telah dirumuskan. Selain itu, bab ini juga memberikan saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang, seperti peningkatan sistem kendali, penambahan fitur monitoring berbasis HMI atau IoT, serta potensi penerapan di lingkungan industri atau institusi pendidikan.