

BAB I

PENDAHULUAN

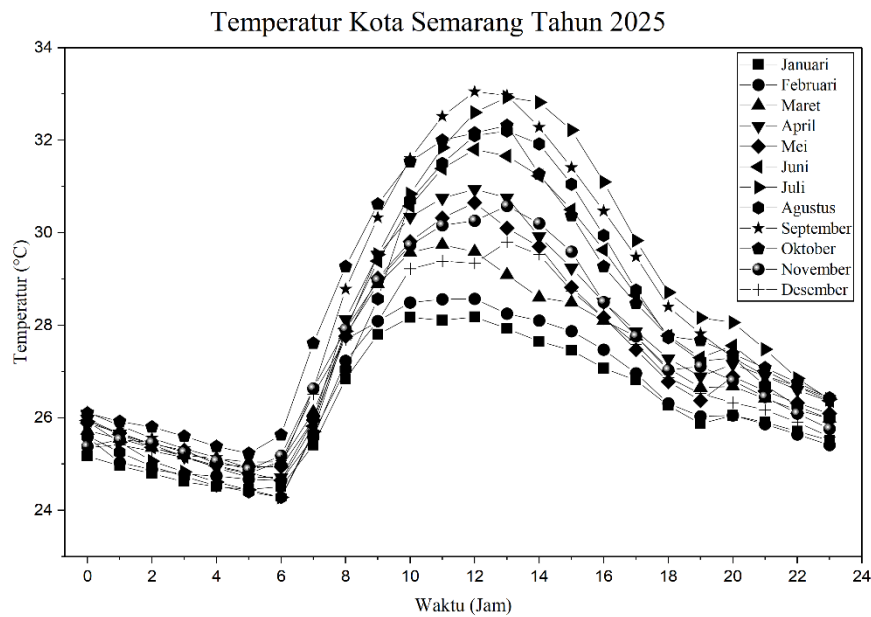
Perkembangan teknologi pengendalian udara dan kelembapan menjadi aspek penting dalam mendukung kebutuhan industri, penelitian, dan kenyamanan lingkungan di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Tingginya kelembapan udara dapat mempengaruhi kualitas produk, kinerja peralatan, serta kenyamanan dan kesehatan manusia, sehingga diperlukan sistem dehumidifikasi yang efektif dan efisien. Salah satu teknologi yang berkembang adalah *dehumidifier* berbasis *desiccant* yang memanfaatkan material penyerap kelembapan untuk mengurangi kandungan uap air di udara. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan rancang bangun *test bed dehumidifier system* berbasis *desiccant* dengan *heater* listrik sebagai media pengujian eksperimental untuk menganalisis performa sistem dan mendukung pengembangan teknologi pengendalian kelembapan yang sesuai dengan kondisi iklim tropis Indonesia.

1.1 Latar Belakang

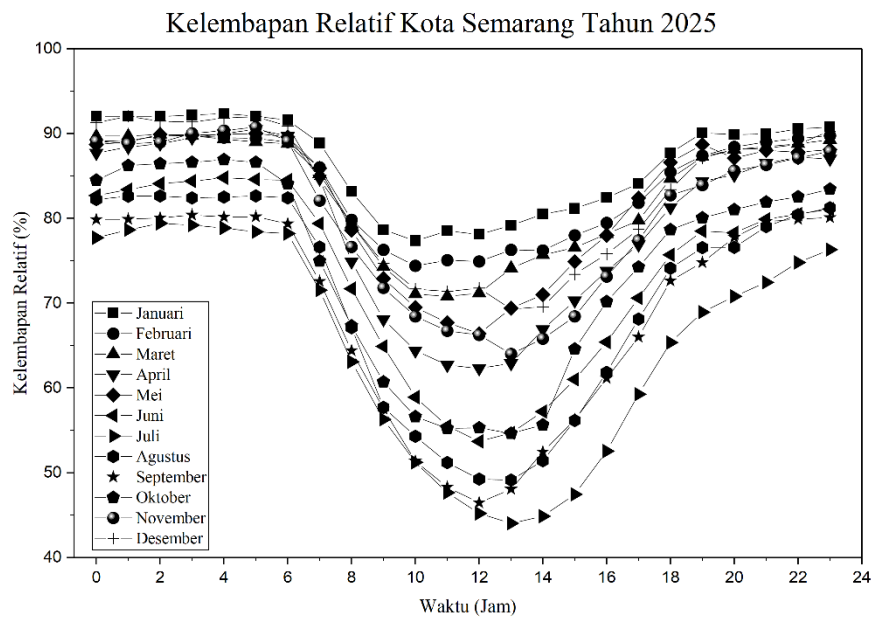
Indonesia merupakan negara kepulauan yang terbentang di 6°LU hingga 11°LS dan dilintasi garis khatulistiwa, memiliki karakteristik iklim yang tropis yang sangat istimewa. Dengan luas wilayah yang membentang sekitar 5.150 km dari barat ke timur dan 1.900 km dari utara ke selatan, serta terdiri lebih dari 17.000 pulau yang tersebar di antara Benua Asia dan Australia, Indonesia menghadapi kondisi lingkungan yang sangat beragam dan dinamis. Letak geografis ini menjadikan iklim Indonesia sangat dipengaruhi oleh faktor oseanografi dan atmosfer global, khususnya sistem angin

muson yang berperan penting dalam membentuk dua musim utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau (Sari, Zahriah dan Zuhrina, 2021).

Sebagai salah satu kawasan pesisir utama yang terletak di bagian utara Pulau Jawa, Kota Semarang secara langsung turut dipengaruhi oleh dinamika iklim tropis dan sistem monsun tersebut. Kondisi mikroklimat di wilayah ini, khususnya terkait fluktuasi temperatur dan kelembapan udara terlihat sangat dinamis serta bervariasi sepanjang tahun mengikuti transisi pergantian musim. Fluktuasi ini tidak hanya terjadi pada skala bulanan, tetapi juga menunjukkan pola siklus harian yang sangat kentara sebagai respons terhadap intensitas pemanasan radiasi matahari. Karakteristik cuaca lokal ini dapat diidentifikasi secara lebih spesifik melalui data pengamatan iklim harian Kota Semarang pada Gambar 1. 1 dan Gambar 1. 2.



Gambar 1. 1 Temperatur Kota Semarang tahun 2025
(sumber: Open-Meteo, 2025)



Gambar 1. 2 Kelembapan relatif Kota Semarang tahun 2025
(sumber: Open-Meteo, 2025)

Berdasarkan grafik Temperatur dan Kelembapan Relatif Kota Semarang pada tahun 2025 yang diolah dari data cuaca historis Open-Meteo, terlihat adanya pola harian yang berbanding terbalik (korelasi negatif) antara suhu dan kelembapan udara. Temperatur mencapai titik terendahnya pada pagi hari, yakni sekitar pukul 05:00 hingga 06:00 dengan kisaran 24°C hingga 26°C , sebelum akhirnya meningkat tajam hingga mencapai titik puncak pada rentang waktu siang hari (pukul 11:00 hingga 14:00). Puncak suhu tertinggi terekam pada bulan September dan Juli, yang menembus angka di atas 33°C , mengindikasikan fase puncak musim kemarau dengan tutupan awan yang minim. Sebaliknya, kelembapan relatif udara berada pada titik maksimum di malam hingga dini hari, mencapai lebih dari 90% (terutama pada bulan-bulan basah seperti Januari dan Desember), lalu mengalami penurunan yang drastis pada siang hari. Penurunan tingkat kelembapan paling ekstrem terjadi selaras dengan puncak suhu

tertinggi, yakni pada bulan September dan Oktober yang menyentuh level 40% hingga 50%. Pola ekstrem ini menegaskan bagaimana pergeseran musim dan siklus pemanasan harian secara langsung membentuk kondisi fisik atmosfer lingkungan di Kota Semarang.

Pola ekstrem ini menunjukkan bahwa Kota Semarang memiliki tingkat kelembapan udara yang relatif tinggi pada sebagian besar periode pengamatan. Kondisi tersebut menjadi salah satu tantangan dalam berbagai aktivitas yang sensitif terhadap kandungan uap air di udara, baik pada lingkungan hunian maupun sektor industri. Di sektor industri, kelembapan yang tinggi meningkatkan risiko kerusakan material, menurunkan kualitas produk, dan meningkatkan biaya pemeliharaan alat dan mesin. Disisi lain, di lingkungan tempat tinggal dan tempat kerja, kelembapan berlebih dapat menurunkan kenyamanan fisik, mempengaruhi kesehatan, dan memperburuk kualitas udara dalam ruangan. Hal ini, menuntut penerapan sistem ventilasi dan pengendalian suhu yang memadai agar proses produksi tetap berjalan optimal.

Selain dampak pada kualitas produk dan kenyamanan sehari-hari, kelembapan udara yang tinggi juga memiliki implikasi serius di lingkungan kerja. Selain dampak tersebut, kelembapan yang berlebih dapat menurunkan produktivitas karyawan. Saat ini, semakin banyak orang menghabiskan waktu di dalam ruangan tertutup, sehingga kualitas udara dalam ruang (*indoor air quality*) menjadi aspek vital yang berhubungan erat dengan efisiensi kerja, daya tahan tubuh, dan produktivitas (Fu dan Liu, 2017). Oleh karena itu, pengelolaan kondisi mikroklimat lingkungan kerja menjadi sangat penting, terutama untuk menjaga keselamatan dan kinerja para pekerja.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi kelembapan udara, terutama di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi. Salah satu teknologi yang

paling umum digunakan adalah *dehumidifier*, yaitu alat yang bekerja dengan menarik udara lembap melalui sistem pendingin internal. Kemudian udara didinginkan hingga mencapai titik embun, di mana uap air mengembun dan dikumpulkan dalam wadah penampung. Selain itu, sistem pendingin udara berbasis AC refrigeratif juga mampu mengurangi kelembapan sebagai efek samping dari proses pendinginannya. Untuk aplikasi skala besar seperti gedung komersial atau industri, digunakan sistem *heating, ventilation, and air conditioning* (HVAC) dengan kontrol kelembapan, yang dapat mengatur suhu dan kelembapan secara simultan dengan efisiensi tinggi.

Teknologi desikatif seperti *desiccant dehumidification* juga menjadi alternatif ramah lingkungan, di mana bahan penyerap kelembapan seperti *silica gel* digunakan untuk menarik uap air dari udara tanpa proses pendinginan. Meskipun teknologi ini efektif, kinerjanya sangat bergantung pada kondisi operasi dan strategi pengendalian sistem, terutama pada wilayah beriklim tropis dengan kelembapan tinggi. Penelitian oleh Asa, Yunianto, dan Muchammad (2024) menunjukkan bahwa sistem dehumidifikasi berbasis *silica gel* pada kondisi udara tertutup mampu menurunkan kelembapan relatif secara signifikan. Secara kuantitatif, penurunan kadar uap air ditunjukkan oleh selisih *humidity ratio* sebesar sekitar 0,005–0,011 kg/kg udara kering (± 5 –11 g/kg udara kering) tergantung variasi suhu, kecepatan udara, dan ketebalan *desiccant*. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu udara dan kecepatan aliran mempercepat laju adsorpsi uap air, sedangkan ketebalan lapisan *desiccant* mempengaruhi kapasitas penyerapan dan waktu kontak antara udara dan material. Oleh karena itu, pengendalian suhu regenerasi secara presisi menjadi faktor penting untuk menjaga kestabilan dan efisiensi kinerja sistem *dehumidifier* uji berbasis *silica gel*.

Namun, sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* masih menghadapi sejumlah tantangan dalam penerapannya, terutama terkait dengan pengendalian suhu pemanasan, efisiensi energi, dan kestabilan kinerja *desiccant* selama proses regenerasi. Beberapa studi menunjukkan bahwa proses regenerasi umumnya berlangsung pada suhu sekitar 80-120°C, sementara penurunan kelembapan udara proses dapat mencapai 30-50% tergantung kondisi operasi dan jenis *desiccant* yang digunakan. Meskipun beberapa sistem *desiccant* memerlukan temperatur regenerasi hingga 80–120 °C, pada penelitian Ibrahim et al., (2025) yang menggunakan silica biru juga sebagai adsorben, menunjukkan bahwa *silica gel* biru sudah dapat diregenerasi pada temperatur 50–90°C. Kandungan uap air udara proses dapat mencapai sekitar 5–15 g/kg udara kering tergantung kondisi operasi dan jenis *desiccant* yang digunakan. Selain itu, variasi kecepatan udara pada kisaran 2–5 m/s serta kecepatan putar *desiccant* wheel sekitar 10–20 RPH juga dilaporkan berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi dan efisiensi sistem. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem *dehumidifier* berbentuk *test bed* dengan *heater* listrik yang mampu mengukur kondisi operasi dan mengontrol suhu secara lebih akurat untuk pengujian eksperimental. Tujuan pembuatan *test bed* ini adalah untuk menguji kinerja sistem dehumidifikasi berbasis *silica gel* dengan berbagai suhu dan aliran udara. Ini juga akan menjadi dasar untuk desain dan efisiensi termal sistem di masa depan. Dengan sistem *test bed* ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan data eksperimental yang valid, mendukung desain *dehumidifier* yang lebih efisien, dan membuka peluang untuk penerapan teknologi pengendalian kelembapan yang stabil, hemat energi, dan adaptif terhadap iklim tropis Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang teridentifikasi pada rancang bangun *test bed dehumidifier* ini adalah:

1. Bagaimana perancangan dan implementasi *test bed dehumidifier desiccant* yang terintegrasi dengan pengendalian suhu regenerasi yang presisi dan akurat untuk kondisi iklim tropis Indonesia?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu regenerasi terhadap kinerja sistem *dehumidifier* yang ditinjau dari perubahan kelembapan relatif dan temperatur udara?
3. Bagaimana kinerja sistem *dehumidifier* berdasarkan data pengujian eksperimental yang diperoleh melalui instrumentasi dan akuisisi data secara *real time*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dituliskan di subbab ini. Batasan masalah dimaksudkan untuk membatasi lingkup dalam pengkajian objek proyek akhir, antara lain:

1. Sistem dehumidifikasi yang diteliti merupakan *dehumidifier desiccant* dengan proses regenerasi menggunakan *heater* listrik sebagai sumber panas utama.
2. Rancang bangun difokuskan pada *test bed* skala laboratorium untuk keperluan pengujian dan evaluasi awal kinerja sistem.
3. Analisis kinerja sistem dibatasi pada pengukuran kelembapan relatif, temperatur udara, dan efisiensi dehumidifikasi pada kondisi operasi tunak.
4. Dimensi *desiccant wheel* ditentukan berdasarkan keterbatasan ruang yang tersedia pada lokasi pengujian sehingga proses perancangan sistem diawali dengan penentuan volume wheel sebagai dasar perhitungan komponen lainnya.

5. Kapasitas *heater* yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan daya listrik pada lokasi pengujian sehingga temperatur regenerasi yang diuji dibatasi pada rentang 40–65°C.
6. Sumber energi listrik sistem berasal dari suplai PLN tanpa analisis keandalan dan kualitas daya.

1.4 Tujuan

1. Merancang dan membangun *test bed dehumidifier desiccant* dengan sistem pengendalian suhu adsorpsi yang mampu menurunkan kelembapan relatif udara dengan kisaran 60 - 70% menjadi 45% dengan kenaikan suhu udara dari kisaran 32°C menjadi kisaran 37°C.
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur regenerasi terhadap performa dehumidifikasi dan konsumsi energi sistem.
3. Mengevaluasi kinerja sistem dehumidifier berdasarkan data pengujian eksperimental yang diperoleh secara *real time*.

1.5 Luaran

1. Sistem *test bed dehumidifier* berbasis *heater* listrik yang dapat digunakan untuk eksperimen lanjutan.
2. Data hasil pengujian awal mengenai performa dehumidifikasi sistem.
3. Dokumentasi desain, spesifikasi teknis, serta analisis hasil pengujian.
4. Luaran Hak Kekayaan Intelektual berupa pendaftaran hak cipta atas desain dan dokumentasi *test bed dehumidifier*.

5. Laporan tugas akhir untuk memenuhi syarat kelulusan.
6. Artikel jurnal ilmiah.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Untuk memenuhi kaidah penulisan ilmiah, laporan proyek akhir ditulis dalam 5 bab berurutan. Bab-bab tersebut meliputi:

1.6.1 BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, luaran, dan sistematika penulisan laporan.

1.6.2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori mengenai teknologi pengendalian kelembapan, jenis-jenis *dehumidifier*, rumus perhitungan, dan jenis material *desiccant*.

1.6.3 BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

Bab ini berisi diagram alir, studi literatur, desain, kalkulasi desain, alat dan bahan, variabel penelitian, serta prosedur pengujian *test bed* hingga penyusunan laporan.

1.6.4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan mengenai data yang didapatkan dari pengujian pada proses proyek akhir.

1.6.5 BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dibahas dan saran-saran perbaikan mengenai kekurangan pada proyek akhir ini untuk penelitian ataupun pengembangan selanjutnya.