

**DESAIN SISTEM TATA UDARA BERBASIS ANALISIS PSIKROMETRIK  
DAN *SIMULASI HOURLY ANALYSIS PROGRAM (HAP)*  
UNTUK MENCEGAH KONDENSASI  
DI RUANG BERSIH INDUSTRI  
FARMASI**



**RANGGA NUGRAHA**  
NIM: 41323110061

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2025**

LAPORAN TUGAS AKHIR

DESAIN SISTEM TATA UDARA BERBASIS ANALISIS PSIKROMETRIK DAN  
SIMULASI *HOURLY ANALYSIS PROGRAM (HAP)*  
UNTUK MENCEGAH KONDENSASI  
DI RUANG BERSIH INDUSTRI  
FARMASI



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Disusun oleh:

Nama : Rangga Nugraha  
NIM : 41323110061  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
AGUSTUS 2025

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Rangga Nugraha  
NIM : 41323110061  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Laporan Skripsi : Desain Sistem Tata Udara berbasis Analisis  
Psikrometrik Dan *Simulasi Hourly Analysis Program*  
(HAP) Untuk Mencegah Kondensasi Di Ruang Bersih  
Industri Farmasi.

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian pernyataan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Nur Indah, S.ST, MT  
NIDN : 0313038001/116800516

Penguji 1 : Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
NIDN : 0313037707/116770512

Penguji 2 : Dr. Subekti, S.T., M.T., IPM  
NIDN : 0323117307/118730612

Jakarta, 04 Agustus 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.  
NIDN. 0307037202

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Imam Midayat, S.T., M.T  
NIDN. 0005087502

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rangga Nugraha  
NIM : 41323110061  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Tugas Akhir : Desain Sistem Tata Udara berbasis Analisis Psikrometrik Dan Simulasi *Hourly Analysis Program (HAP)* Untuk Mencegah Kondensasi Di Ruang Bersih Industri Farmasi.

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

MERCU BUANA

Jakarta, 04 Agustus 2025



Rangga Nugraha



## PENGHARGAAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat *illahi rabbi*, atas rahmat dan karunianya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan jenjang S1 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya laporan ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Ardiansyah, M. Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Gilang Awan Yudhistira, S.T., M.T. selaku sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Nur Indah, S.ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan nasehat selama jalannya proses tugas akhir ini.
6. Kedua orang tua, Ayahanda Muhrom Arifin, S.T. dan Ibunda Yani Suryani yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti.
7. Istri saya, Ria Martiana yang telah memberikan oral, motivasi, dan kesabaran yang senantiasa diberikan.
8. Rekan-rekan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana tahun Angkatan 2023 reguler 2 yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
9. Rekan – Rekan Alumni Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung khususnya Lukman Nurman hakim, S.T., Rizki Verdian, S.T., dan Ridho Rizkiana Kuswara, S.T., yang telah memberikan Motivasi dan Masukan bagi penulis.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan ini karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka menerima segala kritik dan saran. Akhir kata, penulis berharap agar laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, 04 Agustus 2025



(Rangga Nugraha)

## ABSTRAK

Sistem tata udara merupakan komponen sangat penting dalam industri farmasi untuk menjaga kestabilan kondisi iklim mikro ruangan, untuk memastikan kualitas produk, serta memenuhi persyaratan Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB). Sistem tata udara berfungsi untuk mengendalikan suhu, kelembaban relatif, aliran udara serta kualitas udara guna mencegah kontaminasi dan menjaga kenyamanan termal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem tata udara pada salah satu ruang bersih di industri farmasi PT X di kota Semarang, dengan fokus penelitian pada pengendalian risiko kondensasi yang tidak terkendali pada saluran udara. Perhitungan beban pendinginan dilakukan menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) sebagai metode manual, yang kemudian divalidasi menggunakan perangkat lunak *Hourly Analysis Program* (HAP) guna meningkatkan akurasi dan efisiensi perancangan. Analisis psikometrik turut dilakukan untuk memahami karakteristik udara serta menentukan suhu suplai udara yang optimal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain sistem tata udara yang tidak hanya sesuai standar CPOB, namun efisien dalam penggunaan energi serta mampu mengendalikan suhu dan kelembaban secara efektif guna mencegah terjadinya kondensasi.

**Kata kunci :** Sistem tata udara, Ruang bersih, Kondensasi, CLTD, CPOB



**DESIGN OF AIR HANDLING SYSTEM BASED ON PSYCHROMETRIC ANALYSIS AND HOURLY ANALYSIS PROGRAM (HAP) SIMULATION TO PREVENT CONDENSATION IN PHARMACEUTICAL CLEANROOMS**

**ABSTRACT**

*The air handling system is a crucial component in the pharmaceutical industry for maintaining stable microclimate conditions within cleanroom environments, ensuring product quality, and complying with Good Manufacturing Practices (GMP or CPOB in Indonesia). This system functions to regulate temperature, relative humidity, airflow, and air quality to prevent contamination and ensure thermal comfort. This study aims to design an air handling system for a cleanroom at a pharmaceutical facility (PT X) located in Semarang, with a specific focus on mitigating the risk of uncontrolled condensation within the air supply duct. Cooling load calculations were performed using the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) method as a manual approach and then validated using Hourly Analysis Program (HAP) software to enhance design accuracy and efficiency. Psychrometric analysis was also conducted to better understand the air properties and determine the optimal supply air temperature. The outcome of this research is expected to deliver an air handling system design that not only complies with CPOB standards but is also energy-efficient and capable of effectively controlling temperature and humidity to prevent condensation.*

*Keywords: Air handling system, cleanroom, condensation control, CLTD , CPOB*



## DAFTAR ISI

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>             | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b>             | <b>ii</b>   |
| <b>PENGHARGAAN</b>                    | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b>                        | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                       | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b>                     | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                  | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b>                | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR SINGKATAN</b>               | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>              | <b>1</b>    |
| 1.1 LATAR BELAKANG                    | 1           |
| 1.2 RUMUSAN MASALAH                   | 3           |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN                 | 3           |
| 1.4 MANFAAT PENELITIAN                | 4           |
| 1.5 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH | 4           |
| 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN             | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>        | <b>7</b>    |
| 2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA             | 7           |
| 2.2 BANGUNAN FARMASI                  | 12          |
| 2.2.1 Ruang <i>Primary packaging</i>  | 13          |
| 2.3 TATA UDARA RUANGAN BERSIH         | 14          |
| 2.4 KENYAMANAN TERMAL                 | 22          |



|                                       |                                                                 |            |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 2.5                                   | PERHITUNGAN COOLING LOAD                                        | 23         |
| 2.6                                   | PERHITUNGAN COOLING LOAD DENGAN APLIKASI                        | 33         |
| 2.7                                   | HOURLY ANALYSIS PROGRAM (HAP)                                   | 33         |
| 2.8                                   | DIAGRAM PSIKROMETRIK                                            | 34         |
| 2.9                                   | KONDENSASI                                                      | 37         |
| <b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b> |                                                                 | <b>39</b>  |
| 3.1                                   | DIAGRAM ALIR                                                    | 39         |
|                                       | 3.1.1. Studi literatur                                          | 41         |
|                                       | 3.1.2. Pengumpulan Data Desain                                  | 41         |
|                                       | 3.1.3. Perhitungan beban pendinginan                            | 44         |
|                                       | 3.1.4. Analisis Udara dengan Diagram Psikometrik                | 45         |
| 3.2                                   | ALAT DAN BAHAN                                                  | 47         |
|                                       | 3.2.1. Alat                                                     | 47         |
|                                       | 3.2.2. Bahan                                                    | 48         |
| <b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>   |                                                                 | <b>55</b>  |
| 4.1                                   | KONDISI PERENCANAAN                                             | 55         |
| 4.2                                   | PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN MANUAL                            | 56         |
|                                       | 4.2.1 Perhitungan <i>Cooling Load</i> Manual                    | 57         |
| 4.3                                   | PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN <i>SOFTWARE HAP</i>                 | 73         |
|                                       | 4.3.1 Data Cuaca atau Eksternal                                 | 74         |
|                                       | 4.3.2 Data Internal Ruang                                       | 76         |
|                                       | 4.3.3 Analisis Hasil Perhitungan manual dan <i>Software HAP</i> | 94         |
| 4.4                                   | ANALISIS UDARA DENGAN DIAGRAM PSIKOMETRIK                       | 96         |
| <b>BAB V. PENUTUP</b>                 |                                                                 | <b>114</b> |
| 5.1                                   | KESIMPULAN                                                      | 102        |
| 5.2                                   | SARAN                                                           | 103        |

**DAFTAR PUSTAKA**

**104**

**LAMPIRAN**

**107**



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 <i>Water Cooled Chiller System</i>                                                      | 19 |
| Gambar 2.2 <i>Air Cooled Chiller System</i>                                                        | 19 |
| Gambar 2.3 <i>Variable Refrigerant Flow System</i>                                                 | 21 |
| Gambar 2.4 <i>Schematic Diagram Split System</i>                                                   | 22 |
| Gambar 2.5 Proses Heat Balance                                                                     | 27 |
| Gambar 2.6 Proses <i>Heat Balance</i>                                                              | 27 |
| Gambar 2.7 Aplikasi <i>Hourly Analysis Program</i> (HAP)                                           | 34 |
| Gambar 2.8 <i>Psychometric Chart</i>                                                               | 35 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian                                                                 | 40 |
| Gambar 3.2 Cuaca dan Temperatur Udara Area Semarang                                                | 42 |
| Gambar 3.3 Diagram Alir Pengumpulan Data Dari Denah Arsitek                                        | 42 |
| Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Beban Pendingin Sistem Tata Udara                              | 44 |
| Gambar 3.5 Diagram Alir Analisis Udara Dengan Diagram Psikometrik                                  | 46 |
| Gambar 3.6 Laptop MSI                                                                              | 47 |
| Gambar 3.7 Denah Lantai Dasar Ruang <i>Primary Packaging</i>                                       | 48 |
| Gambar 3.8 3D Lantai Dasar Ruang <i>Primary Packaging 1 &amp; 2</i>                                | 49 |
| Gambar 3.9 Plan Lantai Dasar Ruang <i>Primary Packaging 1 &amp; 2</i>                              | 49 |
| Gambar 3.10 Potongan A Gambar Dinding <i>Primary Packaging 2</i>                                   | 50 |
| Gambar 3.11 Dinding Material <i>Sandwich Panel</i>                                                 | 50 |
| Gambar 3.12 Orientasi Letak Bangunan                                                               | 53 |
| Gambar 4.1 Grafik Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Metode CLTD Ruang <i>Primary Packaging 1</i> | 72 |
| Gambar 4.2 Grafik Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Metode CLTD Ruang <i>Primary Packaging 2</i> | 73 |
| Gambar 4.3 Data Cuaca                                                                              | 74 |
| Gambar 4.4 Data Spesifikasi Dinding                                                                | 75 |
| Gambar 4.5 Data Spesifikasi <i>Ceiling</i>                                                         | 75 |
| Gambar 4.6 Data Spesifikasi Kaca                                                                   | 76 |
| Gambar 4. 7 Memasukan Data Dimensi dan Kebutuhan Debit Udara Ruang <i>Primary Packaging 1</i>      | 76 |
| Gambar 4.8 Memasukkan data lampu, penghuni, dan peralatan                                          | 77 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.9 Memasukkan data Dinding & Kaca <i>R. Primary Packaging 1</i>                      | 79  |
| Gambar 4.10 Memasukkan data Atap. Primary Packaging 1                                        | 80  |
| Gambar 4.11 Memasukkan data infiltration. Primary Packaging 1                                | 80  |
| Gambar 4.12 Memasukkan data Lantai. Primary Packaging 1                                      | 81  |
| Gambar 4.13 Memasukkan data Partition Primary Packaging 1                                    | 82  |
| Gambar 4.14 Total Beban Pendinginan Menggunakan <i>Software HAP R.Primary Packaging 1</i>    | 83  |
| Gambar 4. 15 Summary Hasil Perhitungan Menggunakan Software HAP R.Primary Packaging 1        | 84  |
| Gambar 4.16 Memasukan Data Dimensi dan Kebutuhan Debit Udara Ruang.Primary Packaging 2       | 85  |
| Gambar 4.17 Memasukkan data lampu, penghuni, dan peralatan                                   | 86  |
| Gambar 4.18 Memasukkan data Dinding & Kaca <i>R. Primary Packaging 2</i>                     | 88  |
| Gambar 4.19 Memasukkan data Atap Primary Packaging 2                                         | 88  |
| Gambar 4.20 Memasukkan data infiltration. Primary Packaging 2                                | 89  |
| Gambar 4.21 Memasukkan data Lantai. Primary Packaging 2                                      | 90  |
| Gambar 4.22 Memasukkan data Partition Primary Packaging 1                                    | 91  |
| Gambar 4.23 Total Beban Pendinginan Menggunakan <i>Software HAP R.Primary Packaging 2</i>    | 92  |
| Gambar 4.24 Summary Hasil Perhitungan Menggunakan <i>Software HAP R.Primary Packaging 2</i>  | 93  |
| Gambar 4.25 Diagram psikometrik sistem tata udara ruang <i>primary packaging 1</i>           | 97  |
| Gambar 4.26 Data karakteristik udara hasil analisa diagram psikometrik R.Primary Packaging 1 | 98  |
| Gambar 4.27 Diagram Psikometrik sistem tata udara ruang primary packaging 2                  | 99  |
| Gambar 4.28 Data Karakteristik Udara Perancangan Ruang <i>Primary Pacakaging 2</i>           | 100 |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                            |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1  | Penelitian Terdahulu                                                       | 7  |
| Tabel 2.2  | Data kelas Clean Room pada standar ISO dan Federal                         | 14 |
| Tabel 2.3  | Klasifikasi ruangan menurut CPOB 2012                                      | 15 |
| Tabel 2.4  | Rekomendasi Sistem Tata Udara Untuk Setiap kelas kebersihan                | 16 |
| Tabel 2.5  | Standar Kenyamanan Termal                                                  | 22 |
| Tabel 3.1  | Data Yang Di Dapat Dari Denah Arsitek                                      | 43 |
| Tabel 3.2  | Penyesuaian Arah Mata Angin                                                | 43 |
| Tabel 3.3  | Spesifikasi Laptop yang digunakan                                          | 47 |
| Tabel 3.4  | Material Kaca                                                              | 50 |
| Tabel 3.5  | Total Dimensi Kaca                                                         | 50 |
| Tabel 3.6  | koefisien perpindahan panas total Sandwich panel                           | 51 |
| Tabel 3.7  | Total Dimensi Dinding Yang Bersinggungan Dengan Udara Luar                 | 51 |
| Tabel 3.8  | Total Dimensi Dinding Partisi                                              | 52 |
| Tabel 3.9  | Total Dimensi Lantai dan Ceiling                                           | 52 |
| Tabel 3.10 | Tabel Jumlah Orang dan Peralatan Dalam Ruangan                             | 54 |
| Tabel 4.1  | Kondisi Perencanaan                                                        | 55 |
| Tabel 4.2  | Nilai K untuk dinding                                                      | 58 |
| Tabel 4.3  | Tabel Hasil Beban Pendinginan Melalui Dinding                              | 59 |
| Tabel 4.4  | Tabel Hasil Beban Pendinginan Radiasi Melalui Kaca                         | 60 |
| Tabel 4.5  | Tabel Hasil Beban Pendinginan Konduksi Melalui Kaca                        | 61 |
| Tabel 4.6  | Tabel Hasil Beban Pendinginan Partisi                                      | 63 |
| Tabel 4.7  | Hasil Beban Pendinginan Dari Penghuni                                      | 64 |
| Tabel 4.8  | Hasil Beban Pendinginan Dari Pencahayaan                                   | 66 |
| Tabel 4.9  | Hasil Beban Pendinginan Dari Peralatan                                     | 67 |
| Tabel 4.10 | Hasil Beban Pendinginan Dari Ventilasi                                     | 70 |
| Tabel 4.11 | Total Hasil Beban Pendinginan Ruang Primary Packaging 1 Metode manual CLTD | 71 |
| Tabel 4.12 | Total Hasil Beban Pendinginan Ruang Primary Packaging 2 Metode Manual CLTD | 72 |
| Tabel 4.13 | Analisis Hasil Perhitungan Manual dan <i>Software HAP</i>                  | 94 |
| Tabel 4.14 | Analisis Hasil Perhitungan Manual dan <i>Software HAP</i>                  | 95 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran A- 1 <i>Overall Coefficients of Heat Transmission (U-Factor) of Windows and Skylights.</i>                       | 107 |
| Lampiran A- 2 <i>Maximum Solar Heat Gain Factor; Btu/(hr ft<sup>2</sup>) for Sunlit Glass, North Latitude.</i>            | 108 |
| Lampiran A- 3 <i>Shading Coefficients for Glass Without or With Interior Shading by Venetian Blinds or Roller Shades.</i> | 109 |
| Lampiran A- 4 <i>CLTD Correction for Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes A-4</i>               | 110 |
| Lampiran A- 5 <i>Cooling Load Temperature Differences for Conduction Through Glass and Conduction Through Doors.</i>      | 111 |
| Lampiran A- 6 <i>Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Wall</i>                   | 111 |
| Lampiran A- 7 <i>CLTD Correction for Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes.</i>                  | 112 |
| Lampiran A- 8 <i>CLTD Atap.</i>                                                                                           | 113 |
| Lampiran A- 9 <i>Rates of Heat gain from Occupants of Conditioned Spaces.</i>                                             | 113 |
| Lampiran A- 10 <i>Sensible Heat Cooling Load Factor for People.</i>                                                       | 114 |
| Lampiran A- 11 <i>Faktor Ballast Lampu.</i>                                                                               | 114 |
| Lampiran A- 12 <i>CLF lampu.</i>                                                                                          | 115 |
| Lampiran A- 13 <i>Minimum Ventilation Rate in Breathing Zone</i>                                                          | 116 |

## DAFTAR SINGKATAN

| Singkatan | Keterangan                                                            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| HVAC      | <i>Heating Ventilation Air Conditioning</i>                           |
| AHU       | <i>Air Handling Unit</i>                                              |
| FCU       | <i>Fan Coil Unit</i>                                                  |
| HAP       | <i>Hourly Analysis Program</i>                                        |
| ASHRAE    | <i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning</i> |
| CPOB      | <i>Cara Pembuatan Obat yang baik</i>                                  |
| BPOM      | <i>Badan Pengawas Obat dan Makanan</i>                                |
| CLTD      | <i>Cooling load temperature difference</i>                            |

