

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dan simulasi kondisi termal bangunan digunakan untuk mengetahui tingkat kenyamanan ruang pada kondisi eksisting maupun kondisi redesain. Proses analisis dilakukan melalui simulasi CFD dan pengukuran langsung di lapangan untuk memperoleh data suhu, kelembaban udara, serta sirkulasi udara pada bangunan. Selain itu, dilakukan juga validasi simulasi, perbandingan hasil simulasi, dan penyusunan rekomendasi desain ventilasi untuk meningkatkan kenyamanan termal bangunan. Simulasi ini dilakukan dengan parameter yang sudah ditentukan seperti membuat area persebaran angin pada *Geometry Tools*, mengisi parameter berdasarkan material bangunan dan pergerakan kondisi angin pada *Boundary Condition*. Model yang sudah dibuat ini nantinya akan *solve* dengan iterations 1000.

4.1. Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Bagian ini membahas hasil simulasi termal pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang menggunakan CFD 2024. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi temperatur, kelembaban udara, dan sirkulasi udara pada bangunan. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal pada kondisi eksisting dan kondisi redesain.



Gambar 18. Visualisasi Kondisi Eksisting

Simulasi menggunakan CFD menunjukkan distribusi panas pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang, dengan warna hijau menunjukkan

temperatur rendah dan warna merah menunjukkan temperatur tinggi. Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting, temperatur pada bangunan masih cukup tinggi, terutama pada area yang terpapar langsung sinar matahari. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi alami belum bekerja secara optimal sehingga panas masih terakumulasi di dalam ruangan.

Tabel 4. 1. Hasil Simulasi Eksisting Selasar

Lantai	Temperatur Rata-rata	Temperatur Maksimum	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Lantai 1	30,8°C	31,1°C	70%	0,1 m/s	Tidak nyaman
Lantai 2	31,6°C	32,2°C	71%	0,09 m/s	Tidak nyaman
Lantai 3	33,5°C	34,1°C	73%	0,07 m/s	Sangat tidak nyaman

Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting pada area selasar yang disajikan pada Tabel 4.1, terlihat bahwa setiap lantai memiliki kondisi termal yang belum memenuhi tingkat kenyamanan. Lantai 1 menunjukkan temperatur rata-rata sebesar 30,8°C dengan temperatur maksimum 31,1°C, kelembaban relatif 70%, dan kecepatan udara 0,1 m/s, sehingga dikategorikan tidak nyaman. Pada Lantai 2 terjadi peningkatan temperatur rata-rata menjadi 31,6°C dengan temperatur maksimum 32,2°C, kelembaban relatif 71%, serta kecepatan udara yang menurun menjadi 0,09 m/s, sehingga kondisi termalnya tetap berada pada kategori tidak nyaman.

Kondisi yang lebih buruk ditunjukkan pada Lantai 3, di mana temperatur rata-rata mencapai 33,5°C dengan temperatur maksimum 34,1°C, kelembaban relatif meningkat menjadi 73%, sedangkan kecepatan udara menurun menjadi 0,07 m/s. Kombinasi temperatur yang tinggi, kelembaban yang semakin besar, serta rendahnya pergerakan udara menyebabkan lantai ini berada pada kategori sangat tidak nyaman.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan temperatur dan kelembaban relatif dari lantai bawah menuju lantai atas, yang diikuti dengan penurunan kecepatan aliran udara. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa efektivitas ventilasi alami pada area selasar belum mampu mengalirkan udara secara optimal sehingga panas cenderung terakumulasi, terutama pada lantai paling atas. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan sistem ventilasi melalui penerapan strategi desain pasif agar distribusi udara menjadi lebih baik dan kenyamanan termal bangunan dapat ditingkatkan.

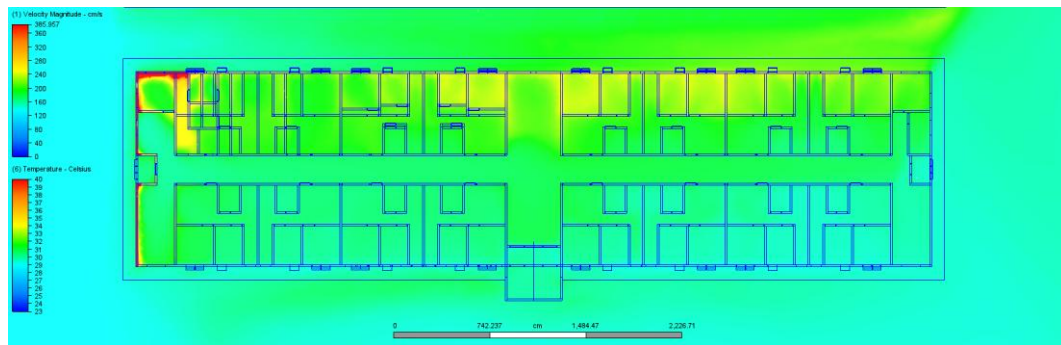
Tabel 4. 2. Hasil Simulasi Eksisting Kamar

Lantai	Temperatur	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Unit 111	31,0°C	71%	0,09 m/s	Tidak nyaman
Unit 215	31,7°C	71%	0,09 m/s	Tidak nyaman
Unit 315	33,2°C	73%	0,07 m/s	Sangat tidak nyaman

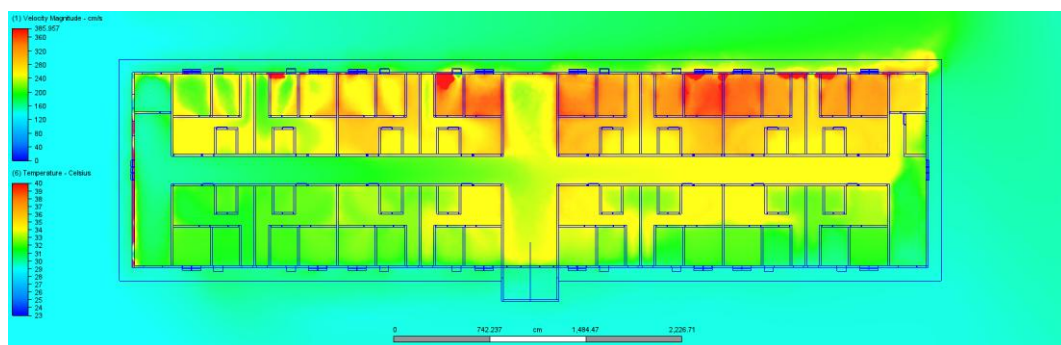
Berdasarkan hasil simulasi kondisi eksisting pada unit kamar yang disajikan pada Tabel 4.2, diketahui bahwa seluruh unit yang dianalisis belum mencapai kondisi kenyamanan termal yang optimal. Unit 111 pada lantai 1 memiliki temperatur sebesar 31,0°C, kelembaban relatif 71%, dan kecepatan udara 0,09 m/s, sehingga termasuk dalam kategori tidak nyaman. Kondisi serupa juga terjadi pada Unit 215 di lantai 2 dengan temperatur 31,7°C, kelembaban relatif 71%, serta kecepatan udara 0,09 m/s, yang menunjukkan bahwa sirkulasi udara di dalam ruang masih belum mampu menurunkan suhu hingga berada pada rentang kenyamanan.

Kondisi termal terburuk ditemukan pada Unit 315 di lantai 3. Hasil simulasi menunjukkan temperatur mencapai 33,2°C dengan kelembaban relatif 73% dan kecepatan udara hanya 0,07 m/s, sehingga dikategorikan sangat tidak nyaman. Peningkatan temperatur yang disertai tingginya kelembaban serta rendahnya kecepatan aliran udara menyebabkan panas terakumulasi di dalam ruangan, sehingga kenyamanan penghuni menjadi semakin berkurang.

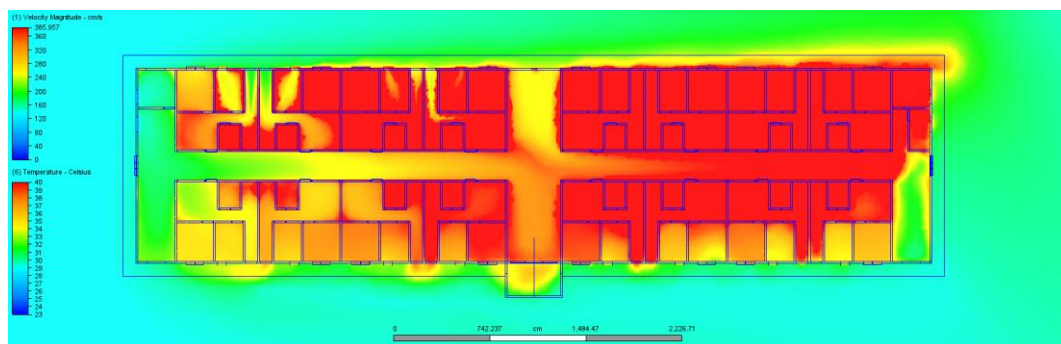
Secara umum, hasil simulasi memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan temperatur dan kelembaban relatif pada unit yang berada di lantai lebih tinggi, sedangkan kecepatan udara mengalami penurunan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem ventilasi alami pada bangunan eksisting belum mampu menghasilkan distribusi udara yang efektif, terutama pada lantai atas. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi desain ventilasi, seperti peningkatan efektivitas bukaan dan penerapan elemen pengendali panas, agar aliran udara di dalam ruang dapat berlangsung lebih baik sehingga kondisi kenyamanan termal penghuni dapat ditingkatkan.



Gambar 19. Hasil Simulasi Eksisting LT.1



Gambar 20. Hasil Simulasi Eksisting LT.2



Gambar 21. Hasil Simulasi Eksisting LT.3

Berdasarkan hasil tersebut, lantai 3 memiliki kondisi paling panas dibandingkan lantai lainnya. Nilai temperatur maksimum mencapai $33,5^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban udara sebesar 72%. Sementara itu, kecepatan udara pada seluruh lantai masih rendah sehingga sirkulasi udara di dalam bangunan belum mampu membantu proses pendinginan ruang secara maksimal. Visualisasi CFD juga memperlihatkan bahwa area bersuhu tinggi masih mendominasi sebagian besar ruangan. Kondisi ini menunjukkan bahwa udara di dalam bangunan belum dapat bergerak secara merata sehingga beberapa area terasa lebih panas dibandingkan area lainnya.

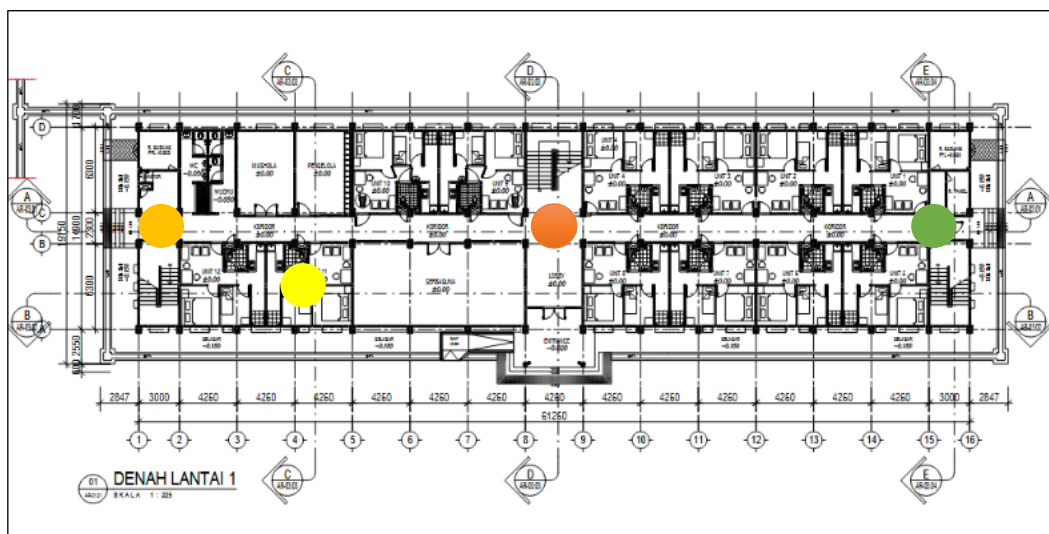
4.1.1. Validasi Simulasi Eksisting dengan Kondisi Lapangan

Validasi simulasi kondisi eksisting dengan kondisi lapangan dilakukan melalui proses perbandingan antara hasil simulasi bangunan dan data pengukuran langsung pada bangunan eksisting. Simulasi kondisi eksisting dilakukan menggunakan CFD berdasarkan kondisi aktual bangunan, meliputi bentuk bangunan, material, bukaan, orientasi, arah angin, serta kondisi lingkungan sekitar. Hasil simulasi memberikan gambaran prediksi kondisi termal ruang berupa suhu udara, kelembapan, dan pola pergerakan udara berdasarkan parameter yang dimasukkan ke dalam sistem simulasi.

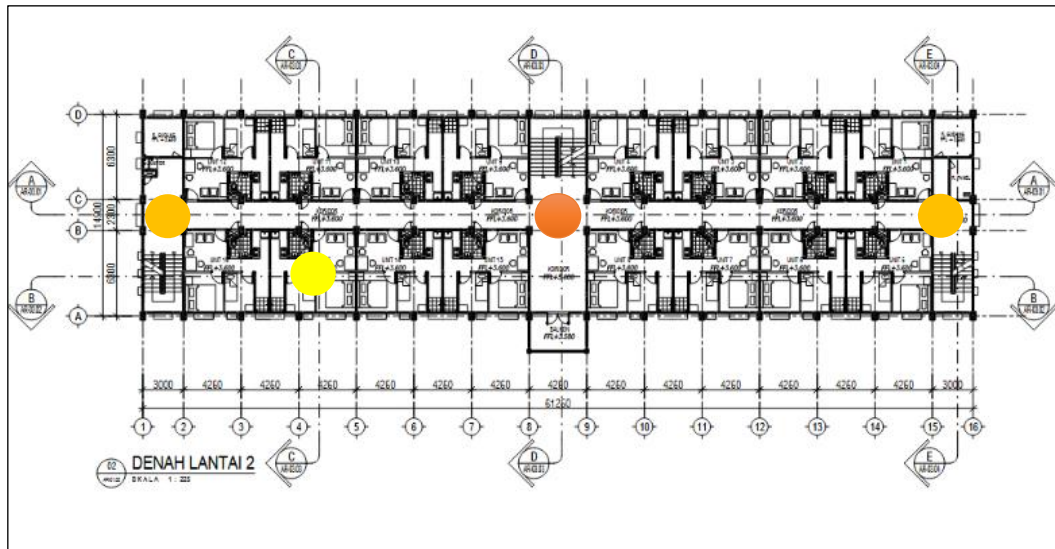
Di sisi lain, pengukuran kondisi eksisting dilakukan secara langsung melalui survei lapangan dengan bantuan alat thermal imagin camera dan ukur digital anemometer. Pengukuran ini bertujuan memperoleh data kondisi termal aktual bangunan sesuai keadaan nyata saat observasi berlangsung. Data hasil pengukuran dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti kondisi cuaca, paparan sinar matahari, aktivitas pengguna ruang, sistem ventilasi, dan kondisi sekitar bangunan pada waktu pengamatan dilakukan. Perbandingan antara hasil simulasi CFD dan hasil pengukuran lapangan digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian model simulasi terhadap kondisi nyata bangunan. Semakin kecil perbedaan suhu yang diperoleh, maka semakin baik tingkat akurasi simulasi dalam menggambarkan kondisi termal bangunan eksisting. Gambar di bawah ini menunjukkan titik pengambilan suhu data lapangan. Setiap lantai terdapat tiga titik yang berada di koridor dengan ketinggian 1 meter di atas lantai.

Keterangan:

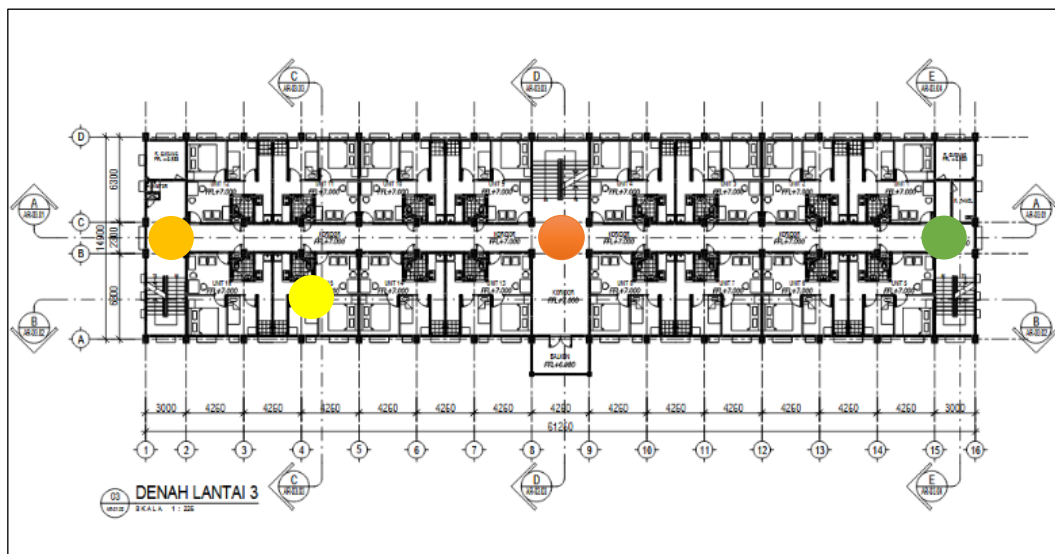
● : Titik 1 ● : Titik 2 ● : Titik 3 ● : Titik 4



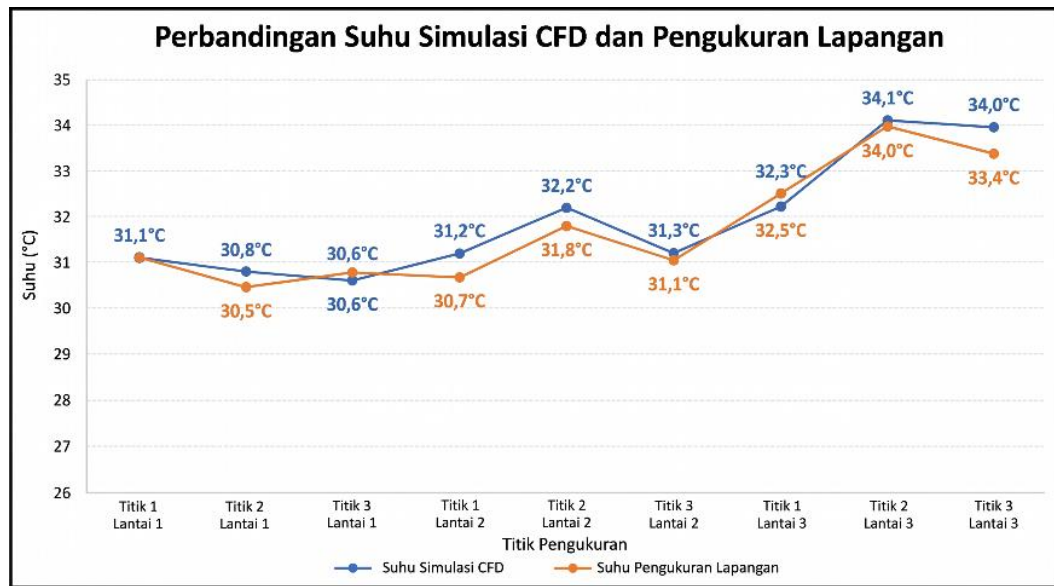
Gambar 22. Titik Denah Lantai 1



Gambar 23. Titik Denah Lantai 2



Gambar 24. Titik Denah Lantai 3



Gambar 25. Pengukuran Suhu Simulasi Eksisting dan Lapangan

Berdasarkan Gambar 4.24, hasil simulasi CFD menunjukkan pola yang hampir sama dengan hasil pengukuran suhu di lapangan pada setiap titik pengamatan. Perbedaan suhu antara kedua data relatif kecil, yaitu berkisar 0,1–0,6°C, sehingga hasil simulasi dapat dikatakan mampu merepresentasikan kondisi termal bangunan yang sebenarnya. Pada Lantai 1, suhu simulasi dan hasil pengukuran memiliki selisih yang sangat kecil, yaitu sekitar 0,0–0,3°C. Hal ini menunjukkan bahwa model simulasi sudah cukup baik dalam menggambarkan kondisi eksisting di lapangan. Pada Lantai 2 juga terlihat pola yang serupa. Suhu hasil simulasi sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran, dengan selisih sekitar 0,2–0,4°C. Meskipun terdapat perbedaan, nilai tersebut masih tergolong kecil dan menunjukkan bahwa simulasi mampu mengikuti kondisi aktual bangunan dengan cukup baik.

Sementara itu, pada Lantai 3 diperoleh suhu tertinggi baik dari hasil simulasi maupun pengukuran lapangan. Suhu simulasi mencapai 34,1°C, sedangkan hasil pengukuran sebesar 34,0°C, sehingga hanya memiliki selisih 0,1°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi posisi lantai, suhu yang terjadi juga semakin meningkat. Hal tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh paparan radiasi matahari yang lebih besar pada lantai atas serta aliran udara yang belum mampu mengurangi akumulasi panas secara optimal.

Secara keseluruhan, hasil simulasi CFD memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan data hasil pengukuran lapangan. Selisih yang relatif kecil menunjukkan bahwa model simulasi yang digunakan cukup valid untuk menggambarkan kondisi termal pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4. Oleh karena itu, hasil

simulasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis lebih lanjut dan menyusun alternatif redesain ventilasi untuk meningkatkan kenyamanan termal bangunan.

Tabel 4. 3. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Kondisi Lapangan

Lantai	Suhu Simulasi CFD	Suhu Pengukuran Lapangan	Selisih
Titik 1 Lantai 1	31,1°C	31,1°C	0,0°C
Titik 2 Lantai 1	30,8°C	30,5°C	0,3°C
Titik 3 Lantai 1	30,6°C	30,8C	0,2°C
Titik 1 Lantai 2	31,2°C	30,7°C	0,5°C
Titik 2 Lantai 2	32,2°C	31,8°C	0,4°C
Titik 3 Lantai 2	31,3°C	31,1°C	0,2°C
Titik 1 Lantai 3	32,3°C	32,5°C	0,2°C
Titik 2 Lantai 3	34,1°C	34,0°C	0,1°C
Titik 3 Lantai 3	34,0°C	33,4°C	0,6°C

Berdasarkan Tabel 4.3, hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang cukup baik dengan hasil pengukuran suhu di lapangan. Selisih suhu pada seluruh titik pengamatan berkisar antara 0,0°C hingga 0,6°C, sehingga perbedaan yang terjadi masih tergolong kecil. Pada Lantai 1, nilai simulasi dan hasil pengukuran hampir sama. Titik 1 memiliki nilai yang identik, yaitu 31,1°C, sedangkan Titik 2 dan Titik 3 hanya memiliki selisih masing-masing 0,3°C dan 0,2°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model simulasi mampu menggambarkan kondisi termal pada lantai bawah dengan cukup baik. Pada Lantai 2, selisih suhu yang diperoleh sedikit lebih besar dibandingkan Lantai 1, yaitu antara 0,2°C hingga 0,5°C. Selisih terbesar terdapat pada Titik 1 dengan nilai 0,5°C, sedangkan Titik 2 dan Titik 3 masing-masing memiliki selisih 0,4°C dan 0,2°C. Perbedaan ini masih dapat diterima karena kondisi di lapangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti perubahan arah angin, intensitas radiasi matahari, serta aktivitas di sekitar bangunan yang sulit direpresentasikan secara sempurna dalam simulasi.

Sementara itu, pada Lantai 3 diperoleh selisih suhu antara 0,1°C hingga 0,6°C. Titik 2 menunjukkan hasil yang paling mendekati kondisi lapangan dengan selisih hanya 0,1°C, sedangkan selisih terbesar sebesar 0,6°C terjadi pada Titik 3. Meskipun demikian, nilai tersebut masih menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki tingkat akurasi yang baik dalam menggambarkan kondisi termal bangunan. Secara keseluruhan, kecilnya perbedaan antara hasil simulasi CFD dan hasil pengukuran lapangan menunjukkan bahwa model simulasi yang digunakan telah tervalidasi dengan baik. Dengan demikian, simulasi ini dapat dijadikan dasar

yang cukup andal untuk menganalisis kondisi termal bangunan serta mengevaluasi alternatif redesain ventilasi dalam penelitian ini.

4.1.2. Perbandingan Hasil Simulasi Eksisting dengan Standar SNI

Perbandingan data hasil simulasi eksisting dengan beberapa standar (SNI) dilakukan melalui proses perbandingan antara hasil simulasi dengan beberapa standar (SNI), SNI 6390:2011 mengenai Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung dengan mengatur suhu nyaman berkisar $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Lantai 1 memiliki temperatur rata-rata sebesar $30,8^{\circ}\text{C}$, sehingga masih lebih tinggi sekitar $4,8^{\circ}\text{C}$ dari nilai standar. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu di dalam bangunan belum berada pada rentang yang direkomendasikan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuni.

Temperatur pada Lantai 2 meningkat menjadi $31,6^{\circ}\text{C}$, atau sekitar $5,6^{\circ}\text{C}$ di atas standar. Sementara itu, Lantai 3 mencatat temperatur rata-rata tertinggi, yaitu $33,5^{\circ}\text{C}$, dengan selisih mencapai $7,5^{\circ}\text{C}$ dari temperatur acuan. Kenaikan temperatur dari lantai bawah menuju lantai atas menunjukkan bahwa panas cenderung terakumulasi pada lantai yang lebih tinggi sehingga kondisi termalnya menjadi semakin kurang nyaman. Hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa ketiga lantai belum memenuhi kriteria kenyamanan termal sesuai SNI 6390:2011. Hal ini membuktikan bahwa sistem ventilasi alami pada kondisi eksisting belum mampu mengendalikan temperatur ruang secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan melalui optimalisasi bukaan ventilasi dan penerapan strategi desain pasif agar suhu di dalam bangunan dapat mendekati rentang kenyamanan yang disyaratkan oleh standar.

Tabel 4. 4. Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan SNI 6390:2011

Lantai	Suhu Simulasi CFD	SNI	Kesimpulan
Lantai 1	$30,8^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.	Tidak sesuai standar
Lantai 2	$31,6^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.	Tidak sesuai standar
Lantai 3	$33,5^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.	Tidak sesuai standar

Selanjutnya perbandingan pada Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa luas bukaan ventilasi pada area selasar di setiap lantai telah memenuhi ketentuan SNI 6572:2024. Dengan luas selasar sebesar 190 m^2 , kebutuhan luas bukaan minimum yang dipersyaratkan adalah 19 m^2 atau sebesar 10% dari luas lantai. Sementara itu, luas bukaan yang tersedia pada Selasar Lantai 1 mencapai $22,48\text{ m}^2$, sehingga telah melebihi nilai minimum yang ditentukan.

Kondisi yang hampir sama juga terlihat pada Selasar Lantai 2 dan Lantai 3. Masing-masing memiliki luas bukaan sebesar $22,26\text{ m}^2$, sehingga masih berada di

atas persyaratan minimum 19 m². Hal ini berarti luas bukaan pada ketiga lantai sudah mencukupi untuk mendukung ventilasi alami sesuai dengan standar yang berlaku.

Meskipun luas bukaan pada seluruh selasar sudah sesuai dengan SNI 6572:2024, kondisi termal bangunan masih belum memberikan kenyamanan yang optimal. Hal ini terlihat dari hasil simulasi sebelumnya yang memperlihatkan temperatur ruangan masih cukup tinggi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kenyamanan termal tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya luas bukaan, tetapi juga oleh faktor lain, seperti arah dan distribusi aliran udara, orientasi bangunan, paparan radiasi matahari, serta efektivitas desain ventilasi dalam mengalirkan udara ke seluruh area bangunan. Dengan demikian, selain memenuhi persyaratan luas bukaan, diperlukan pengaturan ventilasi yang lebih efektif agar aliran udara dapat mengurangi penumpukan panas di dalam bangunan.

Tabel 4. 5. Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan SNI 6572:2024

Lantai	Luasan Ruang	Luasan Bukaan	SNI	Kesimpulan
Selasar Lantai 1	190 m ²	22,48 m ²	19 m ²	Sesuai
Selasar Lantai 2	190 m ²	22,26 m ²	19 m ²	Sesuai
Selasar Lantai 3	190 m ²	22,26 m ²	19 m ²	Sesuai

4.2. Hasil Simulasi Kondisi Redesain

Berdasarkan hasil simulasi dengan mempertimbangkan pada SNI 6390:2011, sistem ventilasi eksisting belum mampu menciptakan kenyamanan termal yang optimal pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang. Hal ini disebabkan oleh ventilasi silang yang belum bekerja secara efektif serta kurangnya elemen pelindung panas pada bangunan.

4.2.1. Hasil Simulasi Redesain Desain Pertama

Pada redesain pertama ini menggunakan louvre dengan kemiringan 45° yang diletakkan pada bukaan sisi kanan dan kiri bangunan dengan kerapatan 50 cm diletakkan dengan posisi vertikal (Gambar 25) Penggunaan material PVC diambil pada desain pertama ini dengan ketebalan material 3 cm (Gambar 26). Berdasarkan hasil simulasi CFD, temperatur ruang pada bangunan mengalami penurunan dibandingkan kondisi eksisting. Selain itu, distribusi udara dalam bangunan menjadi lebih merata sehingga area dengan temperatur tinggi mulai berkurang. Pada visualisasi simulasi, warna merah yang sebelumnya mendominasi bangunan berubah menjadi kuning dan hijau yang menunjukkan temperatur lebih rendah.



Gambar 26. Visualisasi Redesain Pertama Tampak Depan



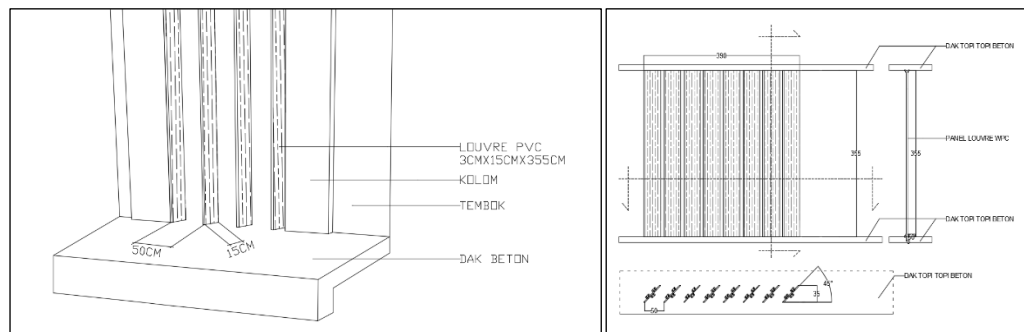
Gambar 27. Visualisasi Redesain Pertama Tampak Belakang



Gambar 28. Visualisasi Redesain Pertama Tampak Samping Kiri



Gambar 29. Visualisasi Redesain Pertama Tampak Samping Kanan



Gambar30.Detail Louver Redesain Pertama

Tabel 4. 6. Hasil Simulasi Redesain Pertama Selasar

Lantai	Temperatur Rata-rata	Temperatur Maksimum	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Lantai 1	25,6°C	26,0°C	65%	0,6 m/s	Nyaman
Lantai 2	25,7°C	27,5°C	65%	0,6 m/s	Nyaman
Lantai 3	27,5°C	29,8°C	67%	0,4 m/s	Nyaman

Temperatur pada area selasar mengalami perubahan yang cukup signifikan setelah dilakukan redesain pertama. Data pada Tabel 4.6 memperlihatkan bahwa suhu rata-rata di Lantai 1 turun menjadi 25,6°C, jauh lebih rendah dibandingkan kondisi eksisting yang mencapai 30,8°C. Penurunan suhu tersebut diikuti dengan meningkatnya kecepatan udara menjadi 0,6 m/s, sedangkan kelembaban relatif berada pada angka 65%. Kombinasi ketiga parameter tersebut membuat kondisi termal di selasar Lantai 1 berubah menjadi nyaman. Perbaikan yang hampir sama juga terjadi di Lantai 2. Temperatur rata-ratanya menjadi 25,7°C dengan kecepatan udara tetap 0,6 m/s dan kelembaban relatif 65%. Dibandingkan kondisi sebelumnya, aliran udara pada lantai ini terasa lebih baik sehingga panas yang berada di area selasar dapat berkurang. Walaupun temperatur maksimum masih mencapai 27,5°C, kondisi termalnya sudah berada dalam kategori nyaman.

Lantai 3 masih menjadi bagian bangunan dengan suhu paling tinggi, yaitu 27,5°C untuk temperatur rata-rata dan 29,8°C untuk temperatur maksimum. Namun jika dibandingkan dengan kondisi eksisting yang mencapai 33,5°C, penurunan suhu ini sudah cukup besar. Kecepatan udara sebesar 0,4 m/s juga membantu memperbaiki sirkulasi udara sehingga area selasar tidak lagi berada pada kondisi yang terlalu panas. Perubahan tersebut memperlihatkan bahwa penerapan redesain pertama memberikan pengaruh yang cukup baik terhadap kondisi termal bangunan. Bukan tambahan dan pengaturan ventilasi membuat udara lebih mudah mengalir

melewati selasar, sehingga penumpukan panas dapat dikurangi. Meskipun lantai paling atas masih memiliki temperatur lebih tinggi dibanding lantai lainnya, seluruh selasar sudah berada pada kategori nyaman.

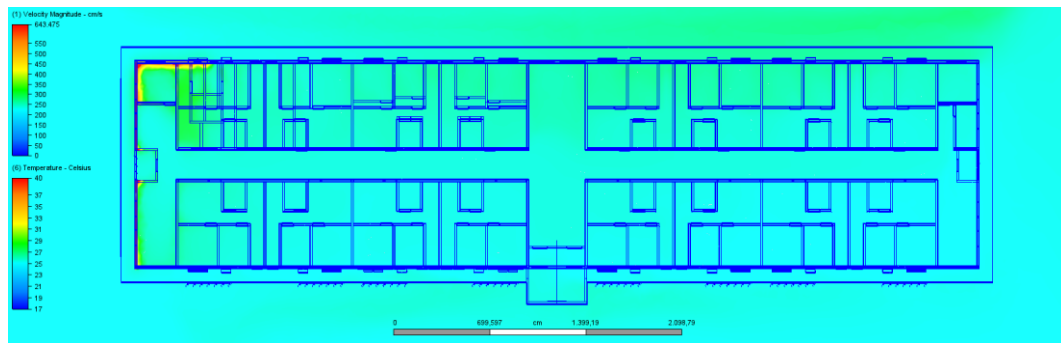
Tabel 4. 7. Hasil Simulasi Redesain Pertama Kamar

Lantai	Temperatur	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Unit 111	26,0°C	66%	0,5 m/s	Naman
Unit 215	25,6°C	65%	0,6 m/s	Nyaman
Unit 315	27,0°C	67%	0,4 m/s	Nyaman

Perubahan kondisi termal pada unit kamar juga terlihat setelah penerapan redesain pertama. Data pada Tabel 4.7 memperlihatkan bahwa temperatur di Unit 111 turun menjadi 26,0°C dengan kelembaban relatif 66% dan kecepatan udara 0,5 m/s. Dibandingkan kondisi eksisting yang mencapai 31,0°C, penurunan suhu ini cukup besar sehingga kondisi termalnya berubah dari tidak nyaman menjadi nyaman.

Hasil yang lebih baik diperoleh pada Unit 215. Temperatur ruang turun hingga 25,6°C, didukung kelembaban relatif 65% serta kecepatan udara 0,6 m/s. Aliran udara yang lebih lancar membuat panas di dalam ruangan berkurang, sehingga unit ini memiliki kondisi termal yang paling baik dibandingkan unit lainnya. Sementara itu, Unit 315 masih memiliki temperatur paling tinggi, yaitu 27,0°C, dengan kelembaban relatif 67% dan kecepatan udara 0,4 m/s. Meskipun suhunya sedikit lebih tinggi dibandingkan dua unit lainnya, kondisinya sudah jauh lebih baik jika dibandingkan dengan temperatur awal sebesar 33,2°C. Kecepatan udara yang meningkat juga membantu mengurangi rasa panas di dalam ruangan sehingga unit ini tetap berada pada kategori nyaman.

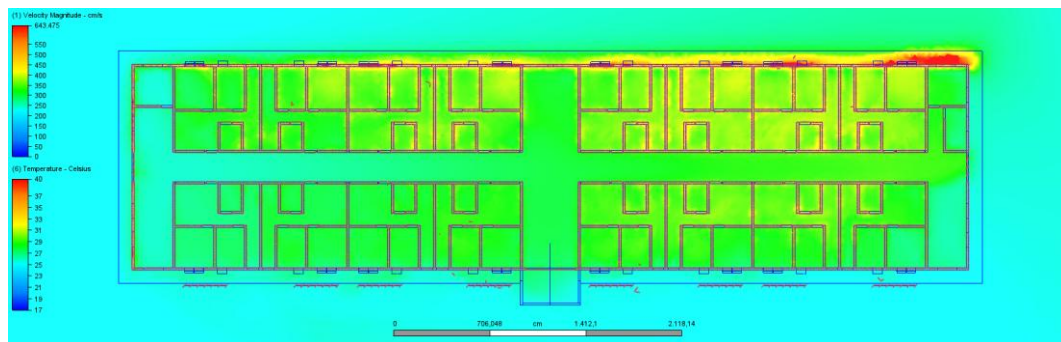
Perubahan tersebut memperlihatkan bahwa redesain pertama memberikan dampak yang cukup nyata terhadap kondisi termal di dalam kamar. Penurunan temperatur yang terjadi pada seluruh unit disertai peningkatan kecepatan udara membuat sirkulasi udara menjadi lebih baik. Dengan kondisi tersebut, ruang kamar terasa lebih nyaman dibandingkan sebelum dilakukan redesain, meskipun unit yang berada di lantai paling atas masih memiliki suhu sedikit lebih tinggi daripada lantai di bawahnya.



Gambar 31. Hasil Simulasi Redesain Pertama LT.1



Gambar 32. Hasil Simulasi Redesain Pertama LT.2



Gambar 33. Hasil Simulasi Redesain Pertama LT.3

Hasil simulasi kondisi redesain menunjukkan adanya peningkatan kenyamanan termal yang cukup signifikan dibandingkan kondisi eksisting. Temperatur pada setiap lantai mengalami penurunan sekitar 5°C hingga 6°C setelah diterapkannya ventilasi silang dan penggunaan louver. Selain itu, kecepatan udara pada setiap lantai meningkat sehingga sirkulasi udara menjadi lebih baik dan panas dalam ruangan dapat dilepaskan lebih cepat. Distribusi panas pada bangunan hasil redesain juga menjadi lebih merata. Area dengan temperatur tinggi mulai berkurang sehingga kondisi termal dalam bangunan menjadi lebih nyaman bagi penghuni.

4.2.2. Hasil Simulasi Redesain Desain Kedua

Pada redesain pertama ini menggunakan louvre dengan kemiringan 45° yang diletakkan pada bukaan sisi kanan dan kiri bangunan dengan kerapatan 30 cm dengan posisi horizontal (Gambar 30). Penggunaan material PVC diambil pada desain pertama ini dengan ketebalan material 3 cm (Gambar 31). Berdasarkan hasil simulasi CFD, temperatur ruang pada bangunan mengalami penurunan dibandingkan kondisi eksisting. Selain itu, distribusi udara dalam bangunan menjadi lebih merata sehingga area dengan temperatur tinggi mulai berkurang. Pada visualisasi simulasi, warna merah yang sebelumnya mendominasi bangunan berubah menjadi kuning dan hijau yang menunjukkan temperatur lebih rendah.



Gambar 34. Visualisasi Redesain Kedua Tampak Depan



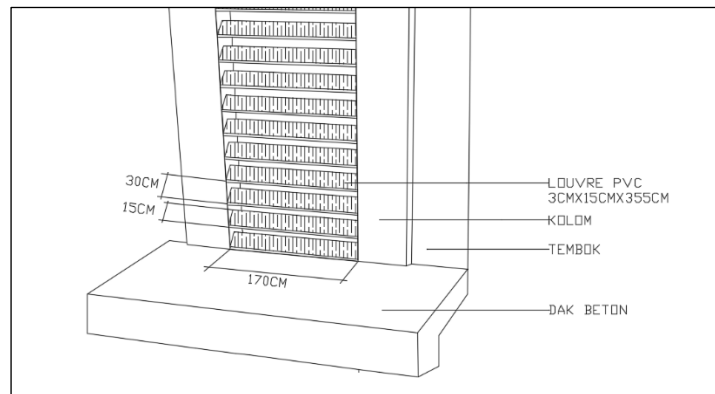
Gambar 35. Visualisasi Redesain Kedua Tampak Belakang



Gambar 36. Visualisasi Redesain Kedua Tampak Samping Kiri



Gambar 37. Visualisasi Redesain Kedua Tampak Samping Kanan



Gambar 38. Detail Louver Redesain Kedua

Tabel 4. 8. Hasil Simulasi Redesain Kedua Selasar

Lantai	Temperatur Rata-rata	Temperatur Maksimum	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Lantai 1	27,9°C	28,8°C	67%	0,4 m/s	Cukup nyaman
Lantai 2	28,8°C	29,9°C	68%	0,3 m/s	Cukup nyaman
Lantai 3	30,7°C	33,4°C	70%	0,1 m/s	Tidak nyaman

Temperatur pada area selasar setelah diterapkan redesain kedua masih mengalami penurunan, tetapi nilainya belum mampu menyamai hasil pada redesain pertama. Pada Tabel 4.8 memperlihatkan bahwa suhu rata-rata Lantai 1 mencapai 27,9°C dengan kecepatan udara 0,4 m/s. Pada redesain pertama, suhu lantai ini dapat ditekan hingga 25,6°C dengan kecepatan udara 0,6 m/s, sehingga kondisi ruang terasa lebih nyaman. Berkurangnya kecepatan udara pada redesain kedua membuat penurunan suhu tidak semaksimal alternatif sebelumnya.

Kondisi di Lantai 2 juga mengalami hal yang serupa. Suhu rata-rata meningkat menjadi 28,8°C, sedangkan kecepatan udara turun menjadi 0,3 m/s. Dibandingkan alternatif pertama, udara yang mengalir di selasar tidak lagi sebesar sebelumnya sehingga suhu ruang ikut meningkat. Meskipun masih masuk kategori cukup nyaman, tingkat kenyamanannya mengalami penurunan. Berbeda dengan dua lantai lainnya, Lantai 3 masih menjadi bagian bangunan yang paling sulit dikendalikan. Suhu rata-rata mencapai 30,7°C dengan temperatur maksimum 33,4°C, sementara kecepatan udara hanya 0,1 m/s. Pada redesain pertama, lantai ini masih mampu mempertahankan suhu rata-rata 27,5°C dengan aliran udara 0,4 m/s. Selisih tersebut menunjukkan bahwa panas lebih mudah tertahan ketika aliran udara berkurang, sehingga kondisi termalnya kembali berada pada kategori tidak nyaman.

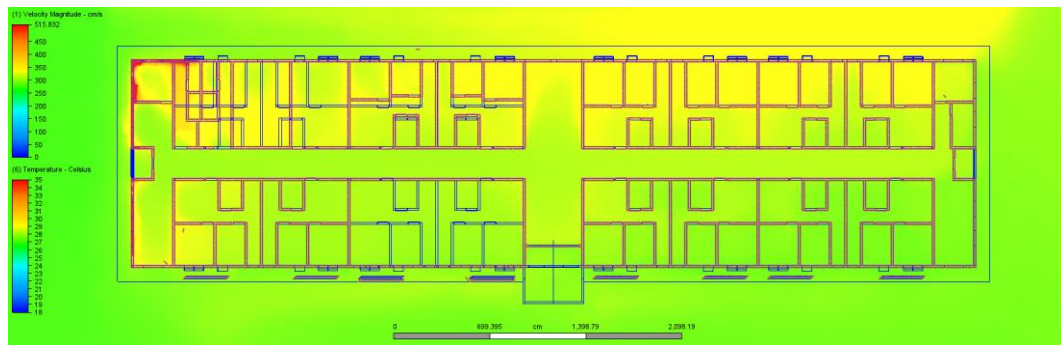
Perbandingan kedua alternatif memperlihatkan bahwa redesain pertama masih menjadi pilihan yang lebih baik. Temperatur pada setiap lantai lebih rendah, sedangkan aliran udara yang masuk juga lebih besar. Kondisi tersebut membuat panas lebih cepat keluar dari area selasar sehingga kenyamanan termal dapat dipertahankan dengan lebih baik dibandingkan redesain kedua.

Tabel 4. 9. Hasil Simulasi Redesain Kedua Kamar

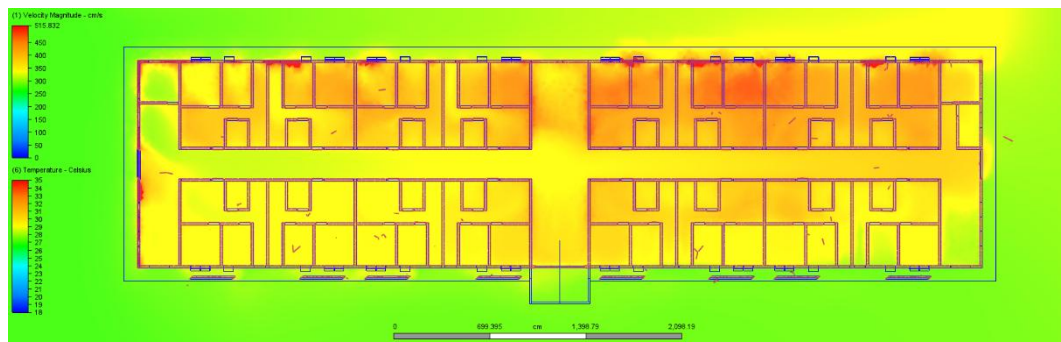
Lantai	Temperatur	Kelembaban Relatif	Kecepatan Udara	Kondisi Termal
Unit 111	28.5°C	68%	0,3 m/s	Cukup Naman
Unit 215	29.4°C	69%	0,2 m/s	Cukup Nyaman
Unit 315	32,0°C	72%	0,08 m/s	Tidak Nyaman

Hasil simulasi redesain kedua pada kamar menunjukkan bahwa kondisi termal di setiap unit disajikan pada Tabel 4.9. Unit 111 memiliki temperatur 28,5°C, kelembaban relatif 68%, dan kecepatan udara 0,3 m/s. Aliran udara pada unit ini sudah cukup terasa sehingga udara di dalam ruangan dapat bergerak dengan lebih baik. Kondisi tersebut membuat ruang berada pada kategori cukup nyaman, meskipun suhu ruangan masih tergolong hangat.

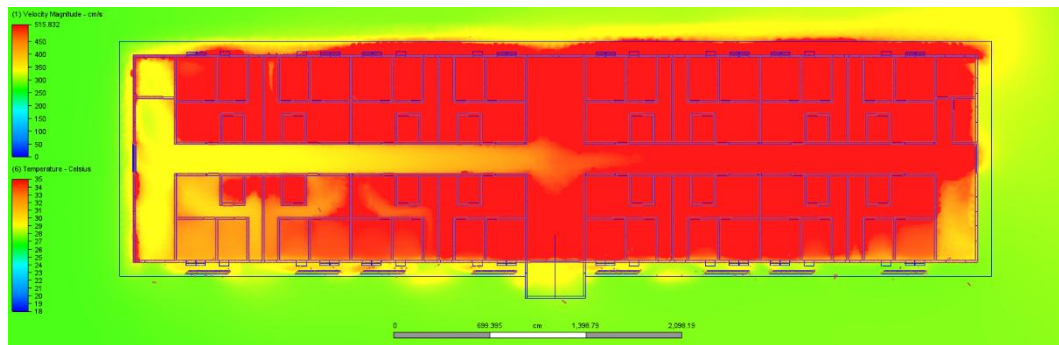
Pada Unit 215, temperatur yang diperoleh sebesar 29,4°C dengan kelembaban relatif 69% dan kecepatan udara 0,2 m/s. Kecepatan udara pada unit ini sedikit lebih rendah dibandingkan Unit 111, sehingga pergerakan udara di dalam ruangan juga tidak terlalu besar. Namun, sirkulasi udara yang ada masih mampu memberikan kondisi termal yang cukup nyaman bagi penghuni. Unit 315 masih menunjukkan kondisi yang kurang baik. Temperatur ruangan mencapai 32,0°C, sedangkan kelembaban relatifnya 72% dengan kecepatan udara hanya 0,08 m/s. Aliran udara yang sangat rendah membuat udara di dalam ruangan terasa lebih diam sehingga panas lebih mudah bertahan. Kelembaban yang cukup tinggi juga membuat ruangan terasa semakin gerah. Oleh karena itu, kondisi termal pada unit ini masih termasuk dalam kategori tidak nyaman.



Gambar 39. Hasil Simulasi Redesain Kedua LT.1



Gambar 40. Hasil Simulasi Redesain Kedua LT.2



Gambar 41. Hasil Simulasi Redesain Kedua LT.3

Hasil simulasi kondisi redesain menunjukkan adanya peningkatan kenyamanan termal dibandingkan kondisi eksisting. Temperatur pada setiap lantai mengalami penurunan sekitar 2°C hingga 3°C setelah diterapkannya ventilasi silang dan penggunaan louver. Namun hasil redesain kedua penurunan temperatur tidak berubah signifikan seperti pada hasil redesain pertama.

4.3. Analisis Perbandingan Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi CFD, kondisi eksisting dan kondisi redesain menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap tingkat kenyamanan termal bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang. Pada kondisi eksisting, temperatur ruangan pada setiap lantai masih berada di atas standar kenyamanan termal menurut SNI 6390:2011 yaitu $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Selain itu, kecepatan udara pada bangunan juga masih rendah sehingga sirkulasi udara belum mampu bekerja secara optimal.

Tabel 4. 10. Perbandingan Hasil Simulasi Eksisting, Redesain Pertama, dan Redesain Kedua

Parameter	Eksisting	Redesain Pertama	Perubahan	Redesain Kedua	Perubahan
Temperatur rata-rata LT.1	30,8°C	25,6°C	Turun 5,2°C	27,9°C	Turun 2,9°C
Temperatur rata-rata LT.2	31,6°C	25,7°C	Turun 5,9°C	28,8°C	Turun 2,8°C
Temperatur rata-rata LT.3	33,5°C	27,5°C	Turun 6,0°C	30,7°C	Turun 2,8°C
Kecepatan udara LT.1	0,1 m/s	0,6 m/s	Naik 0,5 m/s	0,4 m/s	Naik 0,3 m/s
Kecepatan udara LT.2	0,09 m/s	0,6 m/s	Naik 0,51 m/s	0,3 m/s	Naik 0,21 m/s
Kecepatan udara LT.3	0,07 m/s	0,4 m/s	Naik 0,33 m/s	0,1 m/s	Naik 0,03 m/s

Lantai 3 menjadi area dengan kondisi termal paling buruk karena memiliki temperatur rata-rata tertinggi sebesar 33,5°C dibandingkan lantai lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa distribusi panas pada lantai 3 masih cukup tinggi dan sirkulasi udara dalam ruangan belum bekerja secara optimal sehingga temperatur ruang meningkat dibandingkan lantai lainnya. Setelah dilakukan redesain, kondisi termal bangunan mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Penambahan ventilasi silang serta penggunaan louver mampu membantu menurunkan temperatur ruang dan meningkatkan sirkulasi udara di dalam bangunan.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa redesain bangunan mampu menurunkan temperatur pada seluruh lantai dan meningkatkan kecepatan udara dalam ruangan. Penurunan temperatur terbesar terjadi pada lantai 3 sebesar 6,0°C pada redesain pertama, sedangkan pada redesain kedua penurunan temperatur berada pada rentang 2,8°C hingga 2,9°C. Sedangkan peningkatan kecepatan udara tertinggi terjadi pada lantai 2 sebesar 0,51 m/s pada redesain pertama. Selain itu, distribusi panas pada bangunan hasil redesain menjadi lebih merata dibandingkan kondisi eksisting. Area dengan temperatur tinggi mulai berkurang sehingga kondisi ruang menjadi lebih nyaman bagi penghuni. Ventilasi silang yang diterapkan membantu mempercepat pertukaran udara, sedangkan penggunaan louver dan secondary skin membantu mengurangi heat gain akibat radiasi matahari langsung. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan strategi desain pasif pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang terbukti efektif dalam meningkatkan kenyamanan termal bangunan.

Berdasarkan analisis dan pertimbangan terhadap kedua alternatif desain yang telah dikembangkan, redesain pertama dipilih sebagai pilihan desain yang paling optimal karena dapat memberikan peningkatan tingkat kenyamanan termal yang lebih signifikan dibandingkan dengan redesain kedua. Peningkatan ini dipengaruhi oleh penerapan elemen desain yang lebih responsif terhadap kondisi bangunan, sehingga menciptakan kondisi ruang yang lebih nyaman dan mendukung kualitas hunian yang lebih baik. Penerapan modul louver yang diletakkan secara vertikal serta kerapatan yang lebih renggang menghasilkan kondisi kenyamanan yang optimal. Penambahan vegetasi pada redesain juga menjadi langkah yang diambil.

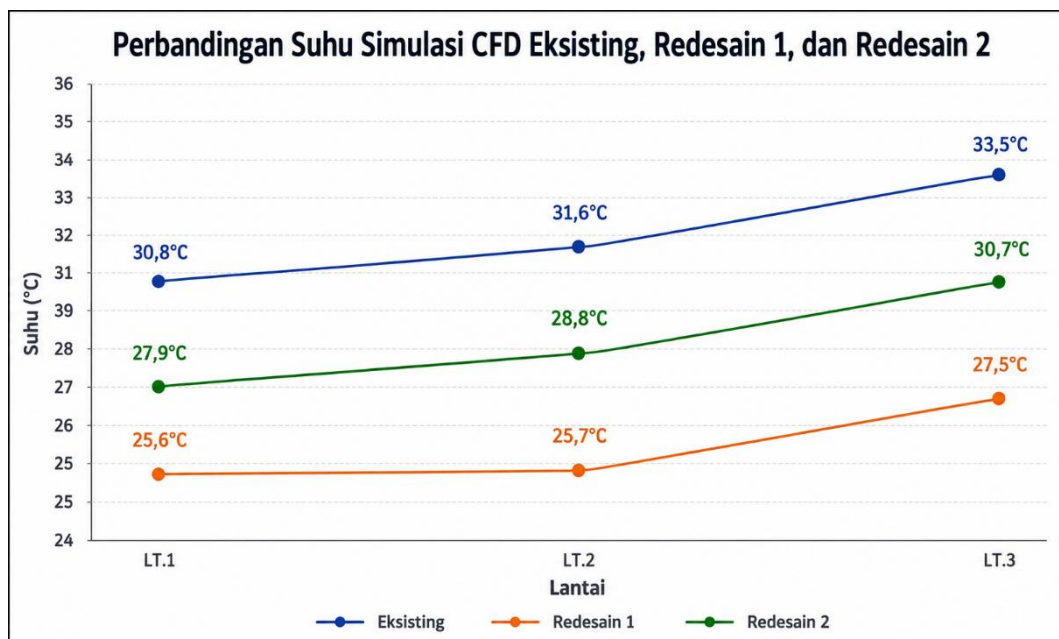
Penambahan vegetasi pada redesain juga menjadi langkah yang diambil. Selain menjadi nilai estetika pada bangunan, dengan menambahkan berbagai variasi vegetasi pada fasad bangunan. Vegetasi juga dapat berdampak pada kenyamanan termal. Vegetasi berfungsi sebagai sistem pendingin pasif yang mampu mengurangi beban energi bangunan (Fathir. M et al., 2025).

4.4. Rekomendasi Desain

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi, berikut adalah beberapa saran perbaikan desain untuk meningkatkan kenyamanan termal dan memenuhi standar ventilasi:

1. Menambahkan bukaan silang di sisi berlawanan (jika memungkinkan), atau menggunakan ventilasi silang melalui koridor atau void.
2. Mengoptimalkan elemen shading dan *secondary skin* seperti kanopi, kisi-kisi, louver, atau tanaman rambat pada sisi bangunan yang terpapar matahari untuk mengurangi *heat gain* tanpa menghambat ventilasi.
3. Meningkatkan penggunaan vegetasi di area sekitar bangunan untuk membantu menurunkan suhu lingkungan mikro.
4. Menggunakan bahan atap dan dinding yang bersifat insulatif, seperti penambahan lapisan foil insulasi atau cat reflektif untuk mengurangi panas yang masuk.

Dengan implementasi desain ini, diharapkan bangunan Rusunawa Gayamsari dapat menjadi hunian yang lebih sehat, nyaman, dan hemat energi sesuai dengan prinsip arsitektur iklim tropis dan standar nasional.



Gambar 42. Pengukuran Suhu Simulasi Eksisting, Redesain Pertama, dan Redesain Kedua

Berdasarkan hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), terlihat adanya perbedaan temperatur rata-rata yang cukup jelas antara kondisi eksisting, redesain pertama, dan redesain kedua pada setiap lantai bangunan. Pada kondisi

eksisting, temperatur rata-rata tercatat sebesar 30,8°C di Lantai 1, 31,6°C di Lantai 2, dan 33,5°C di Lantai 3. Nilai tersebut menunjukkan kecenderungan peningkatan temperatur dari lantai bawah menuju lantai atas, yang mengindikasikan terjadinya akumulasi panas pada bagian atas bangunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa performa termal bangunan eksisting masih belum optimal dalam menciptakan kenyamanan bagi penghuni.

Penerapan redesain pertama memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan temperatur pada seluruh lantai. Temperatur rata-rata turun menjadi 25,6°C pada Lantai 1, 25,7°C pada Lantai 2, dan 27,5°C pada Lantai 3. Dibandingkan kondisi eksisting, penurunan temperatur yang diperoleh masing-masing mencapai 5,2°C, 5,9°C, dan 6,0°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa strategi desain yang diterapkan pada alternatif pertama mampu meningkatkan performa termal bangunan secara efektif dengan mengurangi panas yang masuk ke dalam ruang, sehingga menghasilkan kondisi lingkungan yang lebih nyaman.

Berbeda dengan redesain pertama, redesain kedua juga mampu menurunkan temperatur rata-rata pada setiap lantai, namun dengan tingkat efektivitas yang lebih rendah. Temperatur rata-rata yang diperoleh sebesar 27,9°C pada Lantai 1, 28,8°C pada Lantai 2, dan 30,7°C pada Lantai 3. Penurunan temperatur terhadap kondisi eksisting masing-masing sebesar 2,9°C, 2,8°C, dan 2,8°C. Meskipun menunjukkan adanya perbaikan kondisi termal, hasil yang dicapai masih berada di atas temperatur yang diperoleh pada redesain pertama.

Secara keseluruhan, kedua alternatif redesain berhasil meningkatkan kualitas termal bangunan apabila dibandingkan dengan kondisi eksisting. Namun, redesain pertama memberikan hasil yang paling optimal karena mampu menghasilkan penurunan temperatur yang lebih besar dan konsisten pada seluruh lantai. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan louver dan shading device pada fasad bangunan lebih efektif dalam mengurangi pengaruh radiasi matahari sekaligus mendukung sirkulasi udara alami di dalam bangunan. Oleh karena itu, berdasarkan hasil simulasi CFD, redesain pertama dapat dinilai sebagai alternatif yang paling efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal bangunan, sedangkan redesain kedua tetap memberikan perbaikan, tetapi belum mampu menyamai kinerja termal yang dicapai oleh redesain pertama. Perbandingan kedua redesain ini juga atas dasar perubahan suhu terbaik yang diambil, tidak ada parameter lain yang menjadi rujukan pada pengambilan rekomendasi desain.

Setelah dilakukan rekomendasi desain pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang, simulasi CFD kembali dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi termal pada bangunan. Rekomendasi desain yang diterapkan meliputi penambahan ventilasi silang serta penggunaan louver. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi termal bangunan mengalami peningkatan dibandingkan kondisi eksisting. Distribusi panas pada ruangan menjadi lebih merata dan temperatur ruang mengalami penurunan pada setiap lantai. Selain itu, sirkulasi

udara dalam bangunan menjadi lebih baik sehingga udara panas dapat keluar lebih cepat dari dalam ruangan.

Pada visualisasi simulasi CFD, warna merah yang sebelumnya mendominasi area bangunan mulai berkurang dan berubah menjadi warna kuning hingga hijau. Warna hijau menunjukkan temperatur yang lebih rendah berkisar antara 25°C–27°C, sedangkan warna kuning menunjukkan temperatur sekitar 27°C–29°C. Pada beberapa area tertentu masih terdapat warna oranye dengan temperatur mendekati 30°C, namun intensitasnya jauh lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting.

Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi setelah diterapkannya rekomendasi desain pada bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, temperatur ruang pada lantai 1 dan lantai 2 sudah mendekati standar kenyamanan termal menurut SNI 6390:2011 yaitu sebesar $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada lantai 3 temperatur ruang masih sedikit lebih tinggi, namun kondisi termalnya sudah jauh lebih baik dibandingkan kondisi eksisting.

Peningkatan kenyamanan termal pada bangunan dipengaruhi oleh penerapan ventilasi silang yang membantu memperlancar pertukaran udara di dalam ruangan. Selain itu, penggunaan louver dan secondary skin mampu mengurangi panas matahari yang masuk langsung ke dalam bangunan sehingga temperatur ruang menjadi lebih rendah. Kecepatan udara pada setiap lantai juga mengalami peningkatan dibandingkan kondisi eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa sirkulasi udara dalam bangunan menjadi lebih optimal sehingga panas di dalam ruangan dapat dilepaskan lebih cepat. Distribusi udara yang lebih merata membuat kondisi ruang menjadi lebih nyaman bagi penghuni bangunan Rusunawa Gayamsari Tower 4 Kota Semarang.



Gambar 43. Rekomendasi Desain