

## ANALISIS EFISIENSI AIR CURTAIN RUANGAN EXHIBITION HALL DENGAN METODE SIMULASI WORKBENCH DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL JENDRAL AHMAD YANI SEMARANG

Nanda Rifqi Ulinnuha, Muhammad Abdul Wahid\*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Raya Gunungpati, KM.15, Nongkosawit, Kec. Gn. Pati, Semarang 50224

Email: [mabdulwahid@unwahas.ac.id](mailto:mabdulwahid@unwahas.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi termal dan dampak penghematan energi dari penerapan teknologi air curtain dengan konfigurasi resirkulasi pada pintu utama Exhibition Hall Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani, guna mengatasi tingginya beban pendinginan akibat infiltrasi udara panas. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Workbench (Fluent) pada model geometri dua dimensi, dengan parameter operasional kecepatan udara 20 m/s dan sudut hembusan 55°. Hasil utama simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menciptakan penghalang aerodinamis yang stabil, menghasilkan efisiensi pemisahan (*separation efficiency*) sebesar 13,48% dan menurunkan suhu rata-rata ruangan dari 23,3 °C menjadi 22,44 °C. Secara kuantitatif, inovasi ini memberikan manfaat ekonomi yang signifikan dengan menghasilkan penghematan biaya listrik bersih harian sebesar Rp 781.676,59, atau potensi penghematan tahunan mencapai Rp 281.403.572,4, sekaligus menawarkan waktu pengembalian investasi (*payback period*) yang sangat singkat, yakni kurang dari 7 bulan.

**Kata kunci:** Air Curtain, Efisiensi Energi, Computational Fluid Dynamics (CFD), Infiltrasi Udara, HVAC.

### 1. PENDAHULUAN

Sektor bangunan gedung komersial, termasuk bandar udara, pusat perbelanjaan, dan hotel, merupakan salah satu konsumen energi listrik terbesar secara global dan nasional. Di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia, sistem Tata Udara (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning - HVAC*) menjadi komponen paling dominan dalam konsumsi energi, menyumbang hingga 45-70% dari total beban listrik operasional gedung. Tingginya *persentase* ini menempatkan konservasi dan efisiensi energi sistem HVAC sebagai prioritas utama dalam manajemen operasional gedung komersial, sejalan dengan standar terbaru seperti SNI 6390:2020 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara (BSN (Badan Standarisasi Nasional))

Salah satu tantangan terbesar dalam menjaga kinerja sistem HVAC di bangunan publik adalah infiltrasi udara melalui bukaan pintu yang sering diakses, terutama di area dengan perbedaan suhu yang signifikan antara dalam dan luar ruangan. Pada Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, area *Exhibition Hall* yang memiliki bukaan pintu besar dan sering dilalui, mengalami pertukaran udara panas-dingin yang tidak terkontrol. Infiltrasi udara panas dari lingkungan luar ke dalam ruangan ber-AC secara drastis meningkatkan beban pendinginan sistem FCU (*Fan Coil Unit*), memaksa sistem bekerja lebih keras, dan berujung pada pemborosan energi listrik dan penurunan kenyamanan termal.

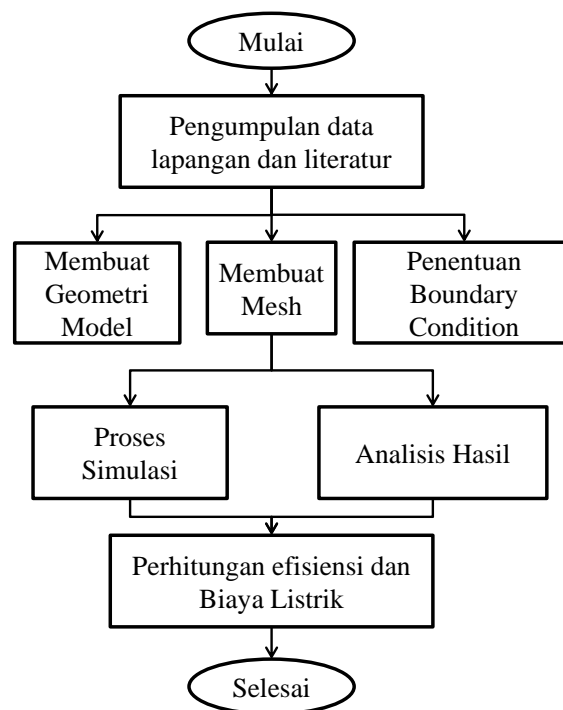
Untuk mengatasi tantangan infiltrasi udara ini, *Air Curtain* (Pintu Sekat Udara) diakui sebagai solusi mekanis yang efektif. Alat ini bekerja dengan menghasilkan aliran udara (*jet*) berkecepatan tinggi yang menciptakan penghalang aerodinamis tak terlihat, secara efektif memisahkan dua zona termal berbeda dan meminimalkan perpindahan panas (Wikipedia). Namun, efektivitas sistem *air curtain* tidak bersifat *absolut*. Kinerjanya sangat bergantung pada konfigurasi parameter instalasi yang optimal, seperti kecepatan hembusan (*jet velocity*), laju aliran udara, dan sudut hembusan, yang harus disesuaikan dengan kondisi bukaan pintu. Pemasangan yang tidak tepat dapat menyebabkan kegagalan segel aerodinamis dan bahkan dapat meningkatkan konsumsi energi tanpa memberikan manfaat pendinginan yang diharapkan.

Oleh karena itu, sebelum instalasi fisik sistem air curtain yang direncanakan di *Exhibition Hall*, diperlukan analisis mendalam untuk memvalidasi dan mengoptimalkan desainnya. Penelitian ini memilih menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis perangkat lunak *ANSYS Workbench (Fluent)* sebagai pendekatan simulasi komputasi *modern* (João Gonçalves, 2019).

Penelitian ini tidak bertujuan mencari konfigurasi air curtain yang paling optimal secara teoritis, melainkan melakukan validasi kinerja desain pra-pengadaan. Simulasi difokuskan pada pengujian parameter spesifik kecepatan jet 20 m/s dan sudut hembusan 55°. Pemilihan parameter ini adalah batasan non-teknis yang krusial, karena merepresentasikan spesifikasi unit yang sesuai dengan anggaran investasi sebesar Rp 18.000.000 per pintu yang telah ditetapkan oleh *Airport Equipment Coordinator* bandara sehingga menggunakan merk CKE model AC-FM-W4510-P7-CY. Dengan demikian, tujuan utama penelitian ini adalah memprediksi efisiensi termal sesuai anggaran dan dampak penghematan biaya dari unit yang spesifik tersebut.

## 2. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini sepenuhnya didasarkan pada simulasi numerik CFD menggunakan model k- $\epsilon$  (Omega) SST pada domain dua dimensi (2D), dengan asumsi aliran tunak (steady-state) dan kondisi dinding adiabatik. Setelah tahap pembuatan geometri yang merepresentasikan bukaan pintu setinggi 2,0 m, dilakukan proses meshing dengan pepadatan intensif (*refinement*) di sekitar bukaan *air curtain* dan jalur *jet* untuk memastikan akurasi komputasi. Proses atau tahapan penelitian kerja praktik ini disusun dalam wujud diagram alir sebagai berikut:



**Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian.**

### 2.1 Computational Fluid Dynamics

Mengingat *air curtain* belum terpasang dan kompleksitas interaksi antara jet udara tirai, udara luar, dan udara dalam ruangan, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah alat standar industri untuk evaluasi kinerja. CFD adalah metode simulasi numerik yang memecahkan persamaan konservasi momentum, *massa*, dan energi untuk memprediksi pola aliran *fluida* dan perpindahan panas.

Dalam konteks penelitian ini, simulasi CFD menggunakan *ANSYS Workbench Fluid Flow Fluent* dengan model turbulensi *SST k-omega* yang sesuai untuk simulasi aliran udara skala ruangan yang memungkinkan:

1. Pemodelan Fisik Realistik: Menciptakan representasi virtual dari Exhibition Hall dan tirai udara.
2. Analisis Skenario: Menguji kecepatan hembusan, sudut, dan perbedaan suhu (sesuai kondisi).
3. Visualisasi Hasil: Secara jelas memvisualisasikan bagaimana udara panas disimpangkan (*defleksi*) oleh jet udara tirai, dan mengukur tingkat kebocoran panas (efisiensi pemisahan).

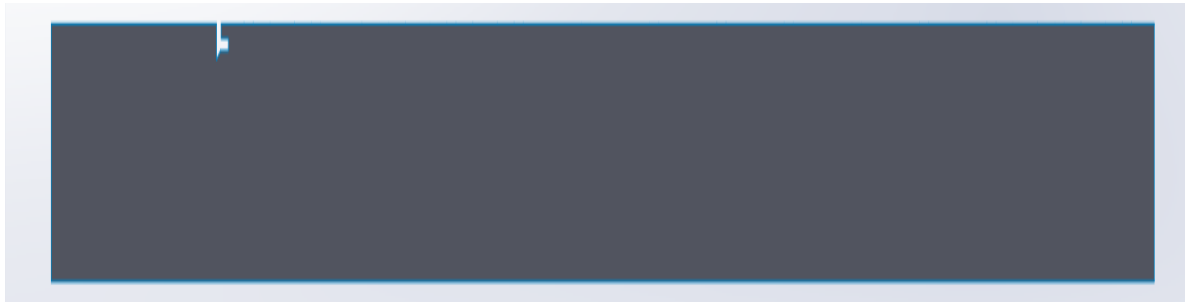
Metode CFD memungkinkan validasi efisiensi secara virtual dan pre-installation, yang jauh lebih hemat biaya dan waktu daripada pengujian fisik.

## 2.2 Geometri

Geometri *domain* fisik terbentuk dari 2 ruangan dengan model 2 dimensi dari ukuran lebar dan tinggi bangunan. Pembuatan menggunakan garis-garis *line* dengan ukuran lebar untuk ruangan didalam disesuaikan dengan kondisi nyata data lapangan senilai 38,4 meter dan tinggi ruangan senilai 3,2 meter. Sedangkan untuk area luar sesuai data di lapangan senilai 6,8 meter. Untuk ukuran lainnya yaitu: tinggi bukaan pintu 2,75 meter, panjang *diffuser* 0.38 meter, ketebalan dinding 0,3 meter, panjang *return* 1 meter, jarak antar *diffuser* 2,4 meter, jarak antara *diffuser* dengan *return* 0,7 meter.

<input type="checkbox"/> A96	55 °	<input type="checkbox"/> L25	2.4 m
<input type="checkbox"/> L10	0.38 m	<input type="checkbox"/> L26	0.38 m
<input type="checkbox"/> L11	2.4 m	<input type="checkbox"/> L28	0.38 m
<input type="checkbox"/> L12	0.38 m	<input type="checkbox"/> L30	0.38 m
<input type="checkbox"/> L13	2.4 m	<input type="checkbox"/> L31	0.7 m
<input type="checkbox"/> L14	0.38 m	<input type="checkbox"/> L32	1 m
<input type="checkbox"/> L17	2.4 m	<input type="checkbox"/> L33	0.7 m
<input type="checkbox"/> L18	0.38 m	<input type="checkbox"/> L34	0.38 m
<input type="checkbox"/> L19	2.4 m	<input type="checkbox"/> L43	0.7 m
<input type="checkbox"/> L2	3.2 m	<input type="checkbox"/> L44	1 m
<input type="checkbox"/> L20	0.38 m	<input type="checkbox"/> L45	0.7 m
<input type="checkbox"/> L21	2.4 m	<input type="checkbox"/> L46	0.7 m
<input type="checkbox"/> L22	0.38 m	<input type="checkbox"/> L47	1 m
<input type="checkbox"/> L23	2.4 m	<input type="checkbox"/> L48	0.7 m
<input type="checkbox"/> L24	0.38 m	<input type="checkbox"/> L49	0.38 m
<input type="checkbox"/> L25	2.4 m	<input type="checkbox"/> L5	0.94 m
<input type="checkbox"/> L26	0.38 m	<input type="checkbox"/> L51	0.94 m
<input type="checkbox"/> L28	0.38 m	<input type="checkbox"/> L54	0.7 m
<input type="checkbox"/> L30	0.38 m	<input type="checkbox"/> L55	1 m
<input type="checkbox"/> L31	0.7 m	<input type="checkbox"/> L56	0.7 m
<input type="checkbox"/> L32	1 m	<input type="checkbox"/> L57	0.7 m
<input type="checkbox"/> L33	0.7 m	<input type="checkbox"/> L58	1 m
<input type="checkbox"/> L34	0.38 m	<input type="checkbox"/> L59	0.7 m
<input type="checkbox"/> L43	0.7 m	<input type="checkbox"/> L6	0.38 m
<input type="checkbox"/> L44	1 m	<input type="checkbox"/> L60	0.7 m
<input type="checkbox"/> L45	0.7 m	<input type="checkbox"/> L61	1 m
<input type="checkbox"/> L46	0.7 m	<input type="checkbox"/> L8	0.38 m
<input type="checkbox"/> L47	1 m	<input type="checkbox"/> L82	0.2 m
<input type="checkbox"/> L48	0.7 m	<input type="checkbox"/> L88	6.8 m
<input type="checkbox"/> L49	0.38 m	<input type="checkbox"/> L89	45.4 m
<input type="checkbox"/> L5	0.94 m	<input type="checkbox"/> L90	3.2 m
<input type="checkbox"/> L51	0.94 m	<input type="checkbox"/> L91	2.75 m
<input type="checkbox"/> L54	0.7 m	<input type="checkbox"/> L92	0.3 m
<input type="checkbox"/> L55	1 m	<input type="checkbox"/> L93	0.1 m

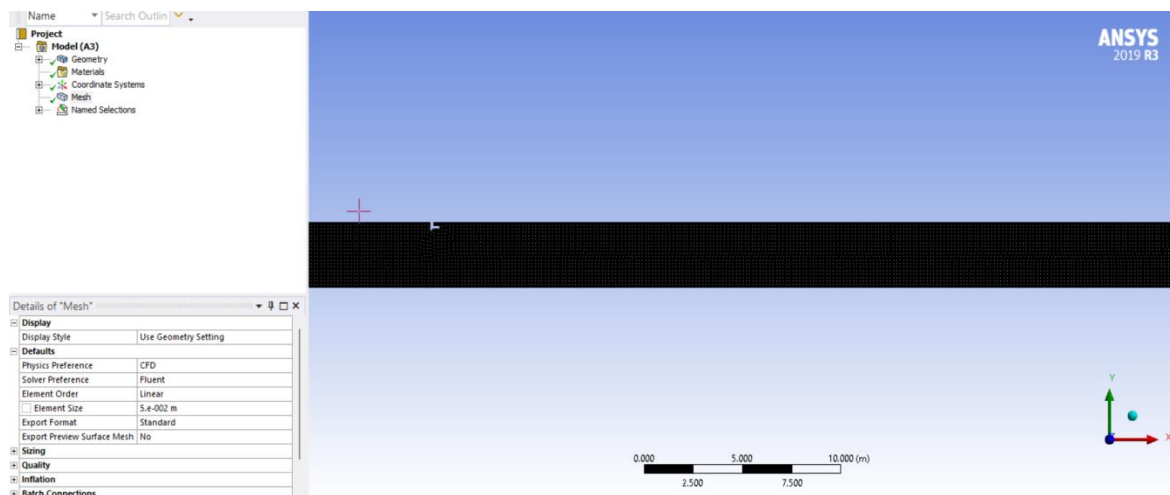
Gambar 2.2 Ukuran Geometri.



Gambar 2.3 Model Geometri.

## 2.3 Meshing

Pada tahap ini, domain geometri dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) untuk keperluan perhitungan numerik. Proses mesh dilakukan pada semua area. Kualitas *mesh* yang baik akan memberikan hasil perhitungan yang stabil dan realistis sehingga pada tahap ini kita akan melakukan *meshing* dengan mengatur *element size* senilai 50 mm. Karena semakin kecil nilai *element size* maka hasil dari perhitungan akan lebih baik.



Gambar 2.4 Mesh.

## 2.4 Boundary Condition

Untuk *boundary condition* pada sistem *diffuser*, *return*, *air curtain inlet* dan *air curtain outlet* memakai sistem resirkulasi *inlet* dan *outlet* yang dimana memberikan sebuah kode pada *console* dengan kode “(rpsetvar 'icepak? #t) (models-changed)” agar sistem resirkulasi *inlet* dan *outlet* muncul pada *type* dimenu *boundary condition*. Sedangkan untuk atmosfir luar menggunakan *type pressure outlet*. Pengaturan resirkulasi *inlet* untuk *diffuser* pada kolom *temperature rise specification method* menggunakan *Heat Source* karena memakai nilai dari kapasitas semua total unit *Fan Coil Unit* (FCU) yang dibagi sejumlah *diffuser* yang terpasang sehingga mendapatkan nilai 3580,39 W, setelah itu pada kolom *direction specification method* menggunakan *Normal to Boundary* dengan *turbulensi intensity* dan *Viscosity ratio* dianggap 5% dan 10. Sedangkan untuk *air curtain inlet* nilainya dibiarkan saja tanpa mengubah pengaturan. Pengaturan resirkulasi *outlet* kolom *mass flow specification method* menggunakan *Mass Flow Rate* yang diisi dengan nilai 6,37 Kg/s pada *Air Curtain* yang didapatkan dari referensi *air curtain* merek CKE model AC-FM-

W4510-P7-CY dan nilai 1,414875 Kg/s pada *Return* berdasarkan data lapangan. Pengaturan atmosfir *outlet* kolom *thermal* masukkan nilai suhu luar ruangan senilai 29,9°C berdasarkan data lapangan dan pada wall menggunakan material *ash-solid*. Lalu masuk ke *menu Initialization* menggunakan *Hybrid Initialization* lalu klik *initialize* yang kemudian pilih *path* lalu *Temperature* dan masukkan nilai untuk kondisi awal suhu ruangan dalam senilai 23,3°C berdasarkan data lapangan, kemudian pilih *surface body* lalu klik *path* setelah itu, klik *Run Calculation*.

## 2.5 Tahap Simulasi dan Post-Processing

Simulasi dijalankan dalam kondisi transient untuk mengetahui nilai suhu yang dipertahankan didalam ruangan. Untuk parameter waktu pada *menu run calculation* digunakan nilai 30 detik dengan rata-rata data lamanya bukaan pintu setelah itu, klik *run calculation*. Hasil simulasi berupa kontur kecepatan, temperature dan aliran turbulensi kemudian dianalisis untuk mengetahui pola aliran udara dan efektivitas air curtain dalam mencegah infiltrasi udara luar.

## 2.6 Perhitungan Efisiensi dan Biaya Listrik

Efisiensi pemisahan ( $\eta$ ) dihitung berdasarkan perbandingan perbedaan suhu sebelum dan sesudah dengan rumus:

$$\eta = \frac{\Delta_{\text{Sesudah}}}{\Delta_{\text{Sebelum}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana nilai  $\Delta_{\text{Sesudah}}$  didapatkan dari perbedaan suhu sebelum dan sesudah ada *air curtain*. Sedangkan untuk nilai  $\Delta_{\text{Sebelum}}$  didapatkan dari perbedaan suhu diluar dan suhu didalam ruangan sebelum ada *air curtain*.

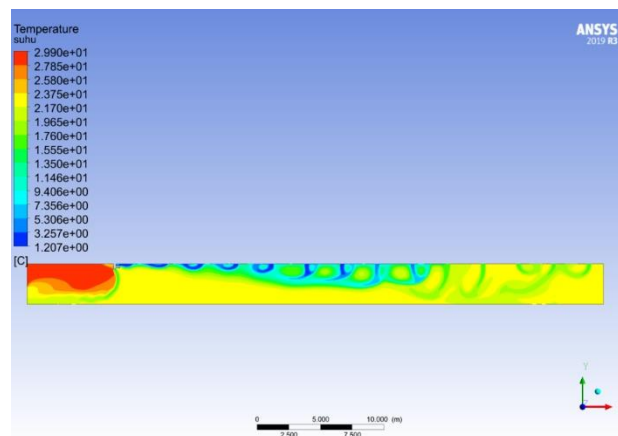
Biaya tagihan listrik dapat dihitung berdasarkan perkalian jumlah konsumsi pemakaian listrik dengan harga per-kWh dengan rumus:

$$\text{Biaya Total} = E \times \text{Tarif}$$

Dimana tarif per-kWh didasarkan pada Gol. I3 dan jumlah konsumsi pemakaian didasarkan data lapangan yang didapat ialah 16 Jam operasional.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

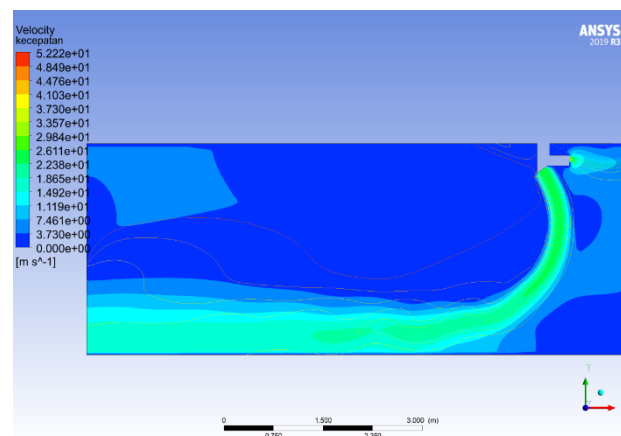
Hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa sistem dengan konfigurasi resirkulasi mampu membentuk penghalang termal yang relatif stabil pada bukaan pintu *Exhibition Hall*. Dengan kondisi suhu rata-rata ruangan sepanjang hari dan dalam satu minggu sebesar 23,3 °C, serta suhu luar rata-rata 29,9 °C, *air curtain* menghasilkan penurunan suhu hingga 22,44 °C, sehingga didapatkan efisiensi pemisahan udara panas sebesar 13,48%.



Gambar 3.1 Contour temperature.

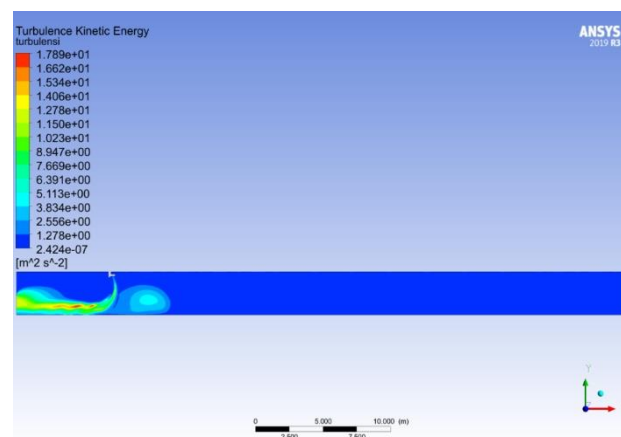
Dapat dilihat pada gambar 3.1, distribusi suhu hasil simulasi memperlihatkan bahwa temperatur dalam ruangan mengalami penurunan dari suhu 23,3 °C menjadi suhu 22,44 °C setelah sistem air curtain aktif. Sehingga diperoleh nilai efisiensi pemisahan sebesar 13,48%. Artinya, dengan sistem resirkulasi, air curtain mampu menahan sekitar 13,48% udara panas yang seharusnya masuk melalui bukaan pintu.

Nilai ini menunjukkan bahwa konfigurasi resirkulasi efektif dalam mengurangi infiltrasi udara panas, sekaligus mempertahankan suhu ruangan yang lebih stabil tanpa penurunan tekanan yang signifikan. Hasil ini sesuai dengan temuan (João Gonçalves, 2012), bahwa sistem *recirculated jet curtain* memiliki kemampuan lebih baik dalam mempertahankan isolasi thermal dibandingkan sistem *non-recirculation*, terutama untuk bukaan besar di area berpendingin.



**Gambar 3.2 Contours temperature.**

Pola aliran hasil kontur kecepatan pada gambar 3.2, memperlihatkan bahwa udara jet dari air curtain mengalir dari outlet menuju permukaan lantai dan kembali ke inlet melalui jalur resirkulasi. Pola ini membentuk sirkuit tertutup yang mencegah terjadinya kehilangan udara dari dalam ruangan ke lingkungan luar. Momentum yang dihasilkan oleh kecepatan 20 m/s menciptakan dinding kinetik yang cukup kaku untuk menahan gaya dorong udara luar. Simulasi menunjukkan bahwa aliran udara luar yang mencoba masuk mengalami defleksi (pembelokan) saat menabrak jet udara berkecepatan tinggi ini, sehingga mencegah terjadinya pertukaran massa udara secara masif antar zona.



**Gambar 3.3 Contours turbulent.**

Berdasarkan kontur turbulensi (*Turbulent Kinetic Energy*) pada gambar 3.3, daerah turbulen dengan intensitas tertinggi berada pada area pertemuan antara aliran *jet* dan udara luar di sisi bawah bukaan pintu.

Zona turbulen ini relatif kecil, menandakan bahwa aliran *jet* dari sistem resirkulasi cukup stabil. Aliran udara yang kembali ke *inlet* juga membantu menjaga tekanan di sekitar ambang pintu tetap seimbang. Dengan demikian, udara panas dari luar tidak memiliki cukup momentum untuk menembus lapisan *jet* udara. Pola ini menjelaskan mengapa terjadi penurunan suhu ruangan.

Namun demikian, hasil ini harus dibaca dengan mempertimbangkan beberapa keterbatasan metodologis. Pertama, model simulasi dibuat dalam bentuk dua dimensi (2D). Pemodelan 2D tidak mampu merepresentasikan fenomena bocoran samping (*side leakage*), pola arus 3D di sekitar kaki pintu, maupun turbulensi *lateral* yang sebenarnya terjadi pada bukaan besar. Studi sebelumnya seperti (João Gonçalves, 2019) dan (Yanlei Yu, 2023) menunjukkan bahwa performa *air curtain* dapat berbeda cukup signifikan jika dimodelkan secara tiga dimensi, sehingga hasil penelitian ini merupakan estimasi awal (*preliminary*) yang cenderung konservatif.

Selain itu, penelitian ini mengasumsikan variabel operasional yang telah disederhanakan. Jam operasional harian sebesar 16 jam (05.00–21.00) digunakan sebagai dasar perhitungan energi pada sistem HVAC dan *air curtain*. Frekuensi bukaan pintu ditetapkan setiap 30 detik, namun dampaknya terhadap kestabilan *jet* udara diabaikan, mengikuti batasan lingkup studi dan metode. Variabel seperti kepadatan pengunjung dan dinamika arus manusia sengaja diabaikan karena simulasi berbasis CFD 2D memang tidak dapat memodelkannya secara realistis. Suhu luar dan dalam ruangan juga menggunakan nilai rata-rata harian dan mingguan, sehingga fluktuasi aktual sepanjang hari tidak dimasukkan ke dalam model. Penyederhanaan ini membuat hasil simulasi tidak sepenuhnya menangkap kondisi operasional nyata, tetapi tetap memberikan gambaran kuantitatif mengenai pengaruh pemasangan *air curtain* terhadap beban pendinginan.

Interpretasi hasil juga menegaskan bahwa efisiensi pemisahan sebesar 13,48% masih berada dalam rentang yang relevan dengan penelitian sebelumnya mengenai *air curtain* jenis *recirculated jet*. Namun nilai ini tidak terlalu tinggi, terutama karena performa sangat bergantung pada spesifikasi perangkat yang digunakan. Dalam konteks penelitian ini, pemilihan unit CKE AC-FM-W4510-P7-CY merupakan akibat dari kendala anggaran sehingga tidak menggunakan variabel bebas. Karena penelitian dibatasi oleh biaya anggaran pemasangan sebesar 18 juta rupiah per-pintu. Dengan demikian, kecepatan *jet*, *debit massa* udara, serta sudut hembusan merupakan karakteristik bawaan perangkat dan tidak dapat dioptimalkan lebih jauh sebagaimana dilakukan pada penelitian akademik lain yang menggunakan perangkat bervariasi dengan fitur kontrol kecepatan adaptif.

Secara keseluruhan, meskipun penelitian ini memiliki batasan terkait simplifikasi model, ketidakberadaan data arus manusia, dan penggunaan model 2D, hasilnya tetap menunjukkan bahwa pemasangan *air curtain* memberikan manfaat energi dan ekonomi yang signifikan. Penghematan energi harian sebesar Rp 781.676,59 dan potensi penghematan tahunan mencapai lebih dari Rp 281 juta menunjukkan bahwa pemasangan *air curtain* tetap menguntungkan dalam konteks operasional bangunan ini. Dengan biaya investasi per pintu Rp 18 juta, waktu pengembalian modal (*payback period*) relatif singkat, yakni kurang dari 7 bulan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kerja praktik dan analisis yang telah dilakukan mengenai Analisis Efisiensi Air Curtain ruangan Exhibition Hall dengan Metode Simulasi Workbench di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu rata-rata di dalam ruangan menurun dari 23,3 °C menjadi 22,44 °C, yang berarti terjadi peningkatan kenyamanan termal setelah sistem *air curtain* beroperasi. Sehingga nilai efisiensi pemisahan udara panas mencapai 13,48%, menunjukkan bahwa sistem *air curtain* mampu menahan sebagian besar udara panas yang berpotensi masuk melalui pintu utama.

2. Dari hasil analisis energi, sistem air curtain mampu memberikan penghematan biaya listrik harian bersih sebesar Rp 781.676,59 dan potensi penghematan tahunan sekitar Rp 281.403.572,4 juta dengan waktu pengembalian investasi kurang dari 7 bulan.

## 5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Dalam pengembangan selanjutnya, simulasi dapat dilakukan dengan model tiga dimensi (3D) untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya, termasuk efek bocoran lateral (samping) dan variasi suhu udara luar.
2. Analisis efisiensi energi dapat diperluas dengan mempertimbangkan variasi jam operasional dan kepadatan pengunjung untuk memperoleh estimasi penghematan energi yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Air Tecnis. (n.d.). How Air Curtains Work. Retrieved November 04, 2025, from Air Tecnics: <https://www.airtecnics.com/technology/how-air-curtains-work>
- American Society of Heating, R. a.-C. (1997). ASHRAE Handbook Fundamentals, 1997. America: ASHRAE, 1997.
- Coowor. (n.d.). Product Categories > Air Curtain. Retrieved Oktober 31, 2025, from Coowor: <https://www.coowor.com/shop/product-detail/j50mk9b4906V.htm>
- Fatwa, A. (n.d.). KP 22 Tahun 2015 Standar Kompetensi Personel Bandar Udara. Retrieved November 07, 2025, from Academia.edu: [https://www.academia.edu/18910119/KP\\_22\\_Tahun\\_2015\\_STANDAR\\_KOMPETENSI\\_PERSONEL\\_BANDAR\\_UDARA](https://www.academia.edu/18910119/KP_22_Tahun_2015_STANDAR_KOMPETENSI_PERSONEL_BANDAR_UDARA)
- Gonçalves, J. C. (2019). Parametric study on the performance of an air curtain based on CFD simulations-New proposal for automatic operation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 193.
- Novatech. (2022, Maret 05). What is an Air Curtain. Retrieved Oktober 31, 2025, from Novatech: <https://novatech.ind.in/what-is-an-air-curtain/>
- PLN. (n.d.). Tarif Adjustment. Retrieved November 17, 2025, from PLN: <https://web.pln.co.id/pelanggan/tarif-tenaga-listrik/tariff-adjustment>
- Prasetyo, B. A. (2025, Juli 31). 4 Cara menghitung biaya listrik pascabayar dengan benar. Retrieved November 6, 2025, from 99.co: <https://www.99.co/id/panduan/menghitung-biaya-listrik-pascabayar/>
- Sinoevse. (2024, Desember 12). Kw vs Kwh. Retrieved November 6, 2025, from Sinoevse: <https://sinoevse.com/id/kw-vs-kwh-what-is-the-difference-between-a-kw-and-a-kwh/>
- wikipedia. (n.d.). Retrieved November 1, 2025, from wikipedia: [https://id.wikipedia.org/wiki/Pintu\\_sekat\\_udara](https://id.wikipedia.org/wiki/Pintu_sekat_udara)
- Yanlei Yu, Y. X. (2023). Aerodynamic Sealing Using a Segmented Recirculating Horizontal Air Curtain for buoyancy-driven Flows in Doorways. *Building and Environment*, 247.
- Yunus A. Çengel, M. A. (2011). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. Nevada, Reno: McGraw-Hill.
- Zeegmashop. (n.d.). Thermogun. Retrieved November 06, 2025, from blibli: <https://www.blibli.com/p/generic-thermogun-digital-thermometer-with-laser-pengukur-temperatur-suhu/ps--ZEP-60025-00076>