

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik dan pembahasan mengenai pengaruh variasi kepadatan penumpang terhadap distribusi aliran udara dan kondisi termal kabin KRL pada kondisi stabil dan selama pembukaan pintu, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi stabil dengan debit suplai udara 7200 m³/jam dan temperatur suplai 19 °C, peningkatan kepadatan penumpang dari 2 menjadi 6 orang/m² menyebabkan kenaikan temperatur udara rata-rata kabin. Temperatur tertinggi terjadi pada kepadatan 6 orang/m² dengan nilai maksimum sekitar 25,36 °C di ujung kabin ($x = 8,80$ m), sedangkan temperatur terendah tercatat pada kepadatan 2 orang/m² dengan nilai minimum sekitar 21,12 °C di bagian tengah kabin ($x = 4,78$ m). Distribusi temperatur dan kecepatan udara menunjukkan ketidakseragaman longitudinal, di mana area tengah kabin memiliki temperatur lebih rendah dan kecepatan udara lebih tinggi dibandingkan ujung kabin, yang mengindikasikan efektivitas sirkulasi udara HVAC lebih baik di bagian tengah.
2. Pembukaan pintu selama 20 detik dengan temperatur udara luar 35 °C menyebabkan peningkatan temperatur yang signifikan di sekitar area pintu dan zona pernapasan penumpang. Pada kepadatan 2 orang/m², kenaikan temperatur relatif mencapai sekitar 5–6% pada ketinggian 0,5–1,1 m dan meningkat hingga sekitar 11,6% pada ketinggian 1,7 m, sedangkan pada kepadatan 6 orang/m² kenaikan relatif lebih kecil, yaitu sekitar 2,7–3,2%. Kenaikan temperatur terbesar secara konsisten terjadi pada ketinggian 1,7 m akibat efek *buoyancy*, disertai peningkatan fluktuasi kecepatan udara di zona kepala, yang berpotensi menurunkan kenyamanan termal penumpang di sekitar pintu karena sensasi *draft*.
3. Nilai *Air Diffusion Performance Index* (ADPI) menunjukkan bahwa keseragaman kondisi termal kabin belum optimal untuk seluruh variasi

kepadatan penumpang. Pada kondisi awal, nilai ADPI tertinggi diperoleh pada kepadatan 2 orang/m² sebesar 60%, sedangkan pada kepadatan 4 dan 6 orang/m² masing-masing sebesar 45%. Selama pintu terbuka, nilai ADPI berfluktuasi dengan nilai minimum sekitar 43,33% dan maksimum sekitar 55%, di mana kepadatan rendah mengalami penurunan ADPI yang lebih tajam akibat gangguan termal, sementara kepadatan tinggi memiliki nilai ADPI awal yang lebih rendah akibat beban panas internal yang besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kepadatan penumpang dan kondisi pembukaan pintu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi temperatur, pola aliran udara, serta tingkat keseragaman kondisi termal di dalam kabin KRL. Meskipun sistem HVAC dengan debit suplai udara 7200 m³/jam dan temperatur suplai 19 °C masih mampu menjaga kondisi termal kabin dalam rentang tertentu, efektivitasnya menurun seiring meningkatnya kepadatan penumpang dan saat terjadi gangguan termal transien akibat pembukaan pintu. Ketidakteraturan distribusi udara, khususnya di area ujung kabin dan zona kepala penumpang, serta fluktuasi nilai ADPI selama pintu terbuka mengindikasikan bahwa kinerja distribusi udara kabin masih memiliki potensi untuk ditingkatkan guna mencapai kenyamanan termal yang lebih merata.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan dan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dikembangkan strategi pengoperasian sistem HVAC yang adaptif terhadap variasi kepadatan penumpang dan kondisi buka–tutup pintu, melalui pengaturan debit aliran atau temperatur udara suplai secara dinamis, guna meminimalkan gangguan termal selama fase transien pembukaan pintu.
2. Untuk meningkatkan keseragaman distribusi temperatur dan nilai ADPI, disarankan dilakukan kajian lanjutan terhadap konfigurasi, posisi, dan arah *diffuser* udara, khususnya pada area ujung kabin dan zona kepala

penumpang yang pada penelitian ini menunjukkan kecenderungan akumulasi panas.

3. Guna meningkatkan keandalan hasil simulasi numerik, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi eksperimental menggunakan data pengukuran lapangan, sehingga kesesuaian antara hasil simulasi CFD dan kondisi operasional aktual kabin KRL dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.
4. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menambahkan variasi durasi dan frekuensi buka–tutup pintu, serta mempertimbangkan kondisi lingkungan luar yang berbeda, agar simulasi lebih merepresentasikan kondisi operasional kereta yang realistis.
5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kepadatan penumpang hingga 200 orang, sistem HVAC menunjukkan kinerja termal yang lebih optimal ditinjau dari pemerataan temperatur dan nilai ADPI dibandingkan kepadatan yang lebih tinggi.
6. Selain penggunaan ADPI, evaluasi kinerja sistem HVAC dapat diperluas dengan mengombinasikan indeks kenyamanan termal lainnya, seperti PMV/PPD atau DR (*draft rate*), sehingga penilaian kenyamanan termal penumpang dapat dilakukan secara lebih menyeluruh.