

ANALISIS KINERJA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA KABIN KRL AKIBAT VARIASI KEPADATAN PENUMPANG DAN PEMBUKAAN PINTU MENGGUNAKAN CFD

Iqbal Fadli

ABSTRAK

Kereta Rel Listrik (KRL) Jabodetabek beroperasi dengan tingkat kepadatan penumpang tinggi dan frekuensi pembukaan pintu yang intens, sehingga sistem pengkondisian udara (HVAC) harus mampu mempertahankan kondisi termal kabin dalam keadaan operasional yang dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem pengkondisian udara kabin KRL akibat variasi kepadatan penumpang dan pembukaan pintu menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan pada model setengah kabin KRL dengan tiga variasi kepadatan penumpang, yaitu 2, 4, dan 6 orang/m². Analisis dilakukan pada kondisi stabil (pintu tertutup) dan kondisi transien selama pembukaan pintu selama 20 detik. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi temperatur udara, kecepatan udara, perubahan temperatur terhadap waktu, serta *Air Diffusion Performance Index* (ADPI) sebagai indikator keseragaman distribusi udara pada zona hunian penumpang. Model numerik divalidasi melalui *mesh independent test* dengan error temperatur sebesar 2,15% dan error kecepatan udara sebesar 8,38%. Hasil simulasi kondisi stabil menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan penumpang menyebabkan kenaikan temperatur udara rata-rata kabin, dari kisaran 21,1–23,4 °C pada kepadatan 2 orang/m² menjadi 22,8–25,4 °C pada kepadatan 6 orang/m², dengan temperatur tertinggi terjadi di ujung kabin dan pada ketinggian 1,7 m akibat efek *buoyancy*. Pada kondisi pintu terbuka, terjadi kenaikan temperatur rata-rata hingga 11,6% pada ketinggian 1,7 m untuk kepadatan 2 orang/m², sedangkan pada kepadatan 6 orang/m² kenaikan relatif lebih kecil, yaitu sekitar 2,7–3,2%. Nilai ADPI menurun selama fase pembukaan pintu, yang mengindikasikan penurunan keseragaman distribusi udara dan potensi penurunan kenyamanan termal penumpang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kepadatan penumpang dan pembukaan pintu berpengaruh signifikan terhadap kinerja sistem pengkondisian udara kabin KRL, sehingga perlu dipertimbangkan dalam pengembangan strategi pengendalian sistem HVAC yang lebih adaptif terhadap kondisi operasional dinamis.

Kata kunci: KRL, HVAC, *Computational Fluid Dynamics*, kepadatan penumpang, pembukaan pintu, ADPI.

ANALYSIS OF THERMAL PERFORMANCE OF A COMMUTER TRAIN CABIN AIR CONDITIONING SYSTEM UNDER PASSENGER DENSITY VARIATIONS AND DOOR OPENING USING CFD

Iqbal Fadli

ABSTRACT

Electric Multiple Unit (EMU) commuter trains (KRL) in the Jabodetabek area operate under high passenger density and frequent door opening cycles, requiring the air conditioning (HVAC) system to maintain acceptable cabin thermal conditions under dynamic operating environments. This study aims to analyze the performance of the KRL cabin air conditioning system due to variations in passenger density and door opening using a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach. Numerical simulations were conducted on a half-cabin KRL model with three passenger density variations, namely 2, 4, and 6 persons/m². The analysis was performed under stable conditions (doors closed) and transient conditions during a 20-second door opening period. The evaluated parameters included air temperature distribution, air velocity distribution, temporal variation of air temperature, and the Air Diffusion Performance Index (ADPI) as an indicator of air distribution uniformity within the occupied zone. The numerical model was validated through a mesh independence test, resulting in temperature and air velocity errors of 2.15% and 8.38%, respectively. The steady-state simulation results show that increasing passenger density leads to a rise in the average cabin air temperature, from approximately 21.1–23.4 °C at 2 persons/m² to 22.8–25.4 °C at 6 persons/m². The highest temperatures were observed at the cabin ends and at a height of 1.7 m due to buoyancy effects. During door opening, a significant transient thermal disturbance occurred, with a maximum average temperature increase of up to 11.6% at the 1.7 m height for the 2 persons/m² condition, while a smaller relative increase of approximately 2.7–3.2% was observed at 6 persons/m². The ADPI values decreased during the door opening period, indicating a degradation in air distribution uniformity and a potential reduction in passenger thermal comfort. These results demonstrate that passenger density variations and door opening significantly affect the thermal performance of the KRL cabin air conditioning system and should be considered in the development of more adaptive HVAC control strategies.

Keywords: *Commuter Train Cabin, HVAC System, CFD, Passenger Density, Door Opening, ADPI.*