

Berdasarkan hasil analisis aliran daya pada sistem kelistrikan kapal tugboat yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP dan diverifikasi melalui perhitungan manual metode Newton–Raphson, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi beban puncak (worst case), total daya aktif generator sebesar 65 kW dan daya reaktif sebesar 34 kvar, dengan daya semu mencapai 73,35 kVA. Nilai ini melebihi kapasitas nominal generator sebesar 40 kW, sehingga tingkat pembebanan mencapai 162,5% dan berada pada kondisi overload. Kondisi ini secara teknis tidak layak untuk operasi kontinu karena berpotensi meningkatkan temperatur lilitan, mempercepat degradasi isolasi, serta menurunkan umur operasi generator.
2. Pada kondisi beban operasional (partial load), daya aktif generator turun menjadi 37 kW dan daya reaktif menjadi 17 kvar, dengan daya semu sebesar 40,72 kVA dan tingkat pembebanan 92,5%. Dibandingkan kondisi worst case, terjadi penurunan daya aktif sekitar 43% dan daya reaktif sebesar 50%, menunjukkan bahwa pengaturan beban operasional secara realistis sangat berpengaruh terhadap kestabilan sistem.
3. Perubahan daya reaktif dari 34 kvar menjadi 17 kvar menunjukkan penurunan sebesar 50%, yang berdampak langsung pada peningkatan faktor daya dari 0,886 menjadi 0,909. Hal ini membuktikan bahwa komponen daya reaktif memiliki kontribusi signifikan terhadap pembebanan generator dan efisiensi sistem.
4. Analisis penurunan tegangan maksimum pada kedua kondisi menunjukkan nilai sebesar 0,16%, yang masih berada dalam batas toleransi standar sistem distribusi tegangan rendah. Hal ini menunjukkan bahwa secara profil tegangan, sistem masih stabil meskipun terjadi overload pada kondisi worst case.
5. Perhitungan manual menggunakan metode Newton–Raphson pada sistem tiga bus menunjukkan konvergensi dalam dua iterasi, dengan selisih tegangan terhadap hasil ETAP kurang dari 0,01%, sehingga metode manual dinyatakan valid dalam memverifikasi hasil simulasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Mengingat daya aktif pada kondisi worst case mencapai 65 kW (162,5% dari kapasitas generator), disarankan untuk Mengganti generator dengan kapasitas minimal 75–80 kVA, atau Mengoperasikan dua generator secara paralel saat kondisi beban puncak terjadi.
2. Untuk mengurangi daya reaktif dan meningkatkan faktor daya, disarankan pemasangan bank kapasitor kompensasi pada panel distribusi utama. Dengan kompensasi daya reaktif, arus sistem dapat dikurangi sehingga pembebanan generator menjadi lebih ringan dan efisiensi meningkat.
3. Diperlukan sistem manajemen beban (load management system) untuk mencegah seluruh beban besar aktif secara bersamaan, khususnya motor berdaya tinggi.
4. Monitoring faktor daya secara real-time menggunakan power meter digital sangat disarankan agar kondisi pembebanan dapat dikendalikan sebelum mencapai overload.
5. Untuk penelitian lanjutan, analisis dapat diperluas pada kondisi transien seperti starting motor atau gangguan tegangan, sehingga karakteristik dinamis sistem kelistrikan kapal dapat dianalisis lebih komprehensif.