

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit yang memanfaatkan siklus Rankine untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Dalam sistem tersebut, kondensor berfungsi mengubah fasa uap keluaran turbin menjadi air kondensat sehingga dapat digunakan kembali dalam siklus feed water. Kinerja kondensor sangat dipengaruhi oleh kontinuitas pasokan air pendingin yang disirkulasikan melalui *Open Cycle Cooling Water System* (Atoni & Mahmud, 2021). Gangguan pada sistem sirkulasi air pendingin dapat menyebabkan penurunan efektivitas proses kondensasi dan berdampak pada performa unit pembangkit secara keseluruhan.



Gambar 1.1 PLTU Nagan Raya

Salah satu komponen penting dalam *Open Cycle Cooling Water System* adalah debris filter yang berfungsi sebagai penyaring terakhir air laut sebelum memasuki kondensor. Debris filter berperan mencegah masuknya sampah, organisme laut, maupun material asing lainnya yang dapat mengganggu

proses perpindahan panas dan merusak peralatan di sisi kondensor. Oleh karena itu, keandalan debris filter menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas operasi sistem sirkulasi air pendingin

Pada operasional PLTU Nagan Raya, penumpukan sampah dan material asing pada debris filter dapat menyebabkan peningkatan *differential pressure* (DP) hingga mencapai 10–100 kPa. Kondisi ini menunjukkan adanya hambatan aliran yang signifikan pada sistem penyaringan sehingga mengurangi kapasitas aliran air laut menuju kondensor. Peningkatan DP juga ini berpotensi meningkatkan beban kerja sistem backwash dan memperbesar risiko kerusakan komponen mekanis pada debris filter hingga menyebabkan derating hingga 50%. Jika kondisi ini tidak bisa tertangani maka bisa mengakibatkan *Maintenance Outage* (MO) maupun *Force Outage* (FO) unit pembangkit.

Salah satu komponen yang menerima pengaruh langsung dari aliran fluida pada debris filter adalah bucket. Geometri bucket konvensional yang memiliki profil relatif datar dapat menimbulkan distribusi tekanan yang tidak merata, meningkatkan turbulensi aliran, serta menghasilkan gaya hidrodinamis yang tinggi pada permukaannya. Fenomena tersebut menyebabkan rugi-rugi aliran (*head loss*) dan meningkatkan beban mekanis yang diterima bucket selama operasi. Menurut Ferziger dan Perić (2002), karakteristik geometri suatu komponen yang berinteraksi langsung dengan fluida sangat mempengaruhi pola aliran, distribusi tekanan, dan gaya yang bekerja pada permukaan komponen tersebut.

Perkembangan metode numerik memungkinkan fenomena aliran fluida dianalisis secara lebih mendalam melalui pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD). CFD merupakan metode komputasi yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan konservasi massa dan momentum secara numerik sehingga mampu memprediksi distribusi kecepatan, tekanan, dan karakteristik aliran pada geometri yang kompleks (Patankar, 1980). Salah satu metode numerik

yang banyak digunakan dalam CFD adalah Finite Volume Method karena memiliki kemampuan yang baik dalam menyelesaikan permasalahan aliran fluida pada domain komputasi yang rumit (Versteeg & Malalasekera, 2007).

Karena aliran yang terjadi pada debris filter bersifat turbulen, pemodelan turbulensi menjadi aspek penting dalam simulasi CFD. Model turbulensi standar $k-\epsilon$ yang dikembangkan oleh Launder dan Spalding (1972) merupakan salah satu model yang paling banyak digunakan untuk memprediksi karakteristik aliran turbulen pada aplikasi teknik. Model ini memiliki tingkat akurasi yang baik dengan kebutuhan komputasi yang relatif rendah sehingga sesuai untuk digunakan pada analisis sistem debris filter.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa modifikasi geometri pada komponen yang berinteraksi dengan aliran fluida dapat memperbaiki distribusi aliran, mengurangi intensitas turbulensi, serta menurunkan gaya-gaya yang merugikan pada sistem. Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa modifikasi profil bucket yang lebih hidrodinamis mampu menurunkan gaya aksial dan meningkatkan gaya tangensial yang berperan dalam mendukung pergerakan bucket. Hasil tersebut menunjukkan bahwa optimasi geometri bucket berpotensi meningkatkan performa operasional debris filter.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas optimasi geometri menggunakan CFD, kajian mengenai modifikasi geometri bucket debris filter pada *Open Cycle Cooling Water System* PLTU Nagan Raya masih belum dilakukan secara spesifik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis modifikasi geometri bucket debris filter berbasis CFD dengan membandingkan bucket standar, bucket dengan radius kelengkungan $R=500$ mm, dan bucket dengan radius kelengkungan $R=700$ mm. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi perbaikan desain debris filter guna memperoleh karakteristik aliran yang lebih baik serta meningkatkan keandalan operasional sistem pada PLTU Nagan Raya.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modifikasi geometri bucket debris filter berbasis simulasi CFD sebagai dasar rekomendasi perbaikan desain debris filter pada Open Cycle Cooling Water System PLTU Nagan Raya. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menghasilkan desain bucket yang lebih hidrodinamis sehingga mampu memperbaiki karakteristik aliran, mengurangi hambatan aliran, dan meningkatkan keandalan operasional debris filter.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diperoleh berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aliran fluida pada bucket debris filter standar dan bucket debris filter hasil modifikasi berdasarkan simulasi CFD?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi geometri bucket terhadap distribusi kecepatan, distribusi tekanan, dan turbulensi aliran pada debris filter?
3. Bagaimana pengaruh modifikasi geometri bucket terhadap gaya yang bekerja pada bucket debris filter?
4. Variasi geometri bucket manakah yang memberikan performa terbaik sebagai rekomendasi perbaikan debris filter pada *Open Cycle Cooling Water System* PLTU Nagan Raya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan disusunnya skripsi ini meliputi:

1. Menganalisis karakteristik aliran fluida pada bucket debris filter menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).
2. Mengevaluasi pengaruh modifikasi geometri bucket terhadap distribusi kecepatan, distribusi tekanan, dan turbulensi aliran pada debris filter.
3. Menganalisis pengaruh modifikasi geometri bucket terhadap gaya yang bekerja pada bucket debris filter.

4. Menentukan konfigurasi geometri bucket yang paling optimal sebagai rekomendasi perbaikan debris filter pada *Open Cycle Cooling Water System* PLTU Nagan Raya.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi teknis mengenai modifikasi geometri bucket debris filter yang dapat diterapkan pada PLTU Nagan Raya.
2. Menyediakan data hasil simulasi CFD yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan desain debris filter.
3. Memberikan informasi mengenai karakteristik aliran, distribusi tekanan, turbulensi, dan gaya yang bekerja pada bucket debris filter.
4. Mendukung upaya peningkatan keandalan operasi debris filter melalui perbaikan karakteristik aliran pada sistem.
5. Menambah referensi ilmiah mengenai penerapan CFD dalam optimasi komponen pada *Open Cycle Cooling Water System* PLTU.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mendukung penelitian agar tetap fokus dengan rumusan masalah yang ada, maka diperlukan adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tanpa pengujian eksperimental.
2. Model turbulensi yang digunakan adalah model turbulensi standar $k-\epsilon$.
3. Geometri bucket yang dianalisis terdiri dari bucket standar, bucket dengan radius kelengkungan $R=500$ mm, dan bucket dengan radius kelengkungan $R=700$ mm.
4. Fluida yang digunakan dalam simulasi adalah air laut dengan parameter operasi sesuai kondisi sistem debris filter PLTU Nagan Raya.

5. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi kecepatan, distribusi tekanan, pola aliran (pathline), turbulensi, dan gaya yang bekerja pada bucket.
6. Penelitian tidak membahas aspek ekonomi, manufaktur, maupun implementasi lapangan dari desain yang direkomendasikan.
7. Hasil penelitian berupa rekomendasi desain berdasarkan simulasi CFD dan belum dilakukan validasi melalui implementasi aktual di lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi yang digunakan, dan juga sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA dan DASAR TEORI

Dalam bab ini berisi teori dasar yang mendasari penelitian ini,.

BAB III : METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menguraikan metode yang digunakan penulis dalam memperoleh data dan mencapai tujuan penelitian, sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan.

BAB IV : ANALISIS dan PEMBAHASAN

Berisi analisis terhadap

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi rangkuman hasil pembahasan dalam bentuk kesimpulan, serta memberikan saran-saran yang relevan sebagai bentuk tindak lanjut berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.