

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis pengaruh modifikasi geometri bucket debris filter terhadap karakteristik aliran fluida pada sistem *Open Cycle Cooling Water* PLTU Nagan Raya. Metode CFD dipilih karena mampu memvisualisasikan distribusi kecepatan, distribusi tekanan, pola aliran, turbulensi, serta gaya hidrodinamika yang bekerja pada bucket tanpa harus melakukan pengujian langsung pada kondisi operasi aktual.

Penelitian dilakukan dengan membandingkan tiga variasi geometri bucket, yaitu bucket standar (*existing bucket*), bucket modifikasi dengan radius kelengkungan $R=500$ mm, dan bucket modifikasi dengan radius kelengkungan $R=700$ mm. Hasil simulasi dari ketiga model tersebut kemudian dianalisis dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh modifikasi geometri terhadap karakteristik aliran dan gaya yang bekerja pada bucket.

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi distribusi kecepatan, distribusi tekanan, pola aliran (*pathline*), energi kinetik turbulen (*turbulent kinetic energy*), gaya aksial, gaya tangensial, dan torsi yang bekerja pada bucket. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk menentukan konfigurasi bucket yang memiliki performa hidrodinamika terbaik.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada sistem debris filter yang merupakan bagian dari *Open Cycle Cooling Water System* PLTU Nagan Raya. Data geometri bucket, data operasional, dan dokumentasi lapangan diperoleh dari unit operasi dan pemeliharaan PLTU Nagan Raya.

PLTU Nagan Raya merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan air laut sebagai media pendingin utama pada sistem kondensor. Oleh karena itu, keberadaan debris filter memiliki peranan penting dalam menjaga kontinuitas aliran air pendingin menuju kondensor.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu $\pm 3-6$ bulan, yang meliputi pengumpulan data, pemodelan geometri, simulasi CFD, analisis hasil simulasi, dan penyusunan laporan penelitian.

3.3 Data Penelitian

3.3.1 Data Operasional

Data operasional digunakan untuk memahami kondisi aktual debris filter selama beroperasi. Data tersebut meliputi:

1. Data differential pressure (DP) debris filter.
2. Data kondisi operasi sistem *Open Cycle Cooling Water*.
3. Data gangguan yang terjadi pada debris filter.
4. Data historis peningkatan DP yang berkaitan dengan gangguan bucket.

Data operasional digunakan sebagai dasar identifikasi permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian.

3.3.2 Data Geometri

Data geometri digunakan sebagai dasar pembuatan model simulasi CFD. Variasi geometri yang digunakan dalam penelitian terdiri dari:

Tabel 3.1 Variasi Geometri Bucket

Variasi Bucket	Keterangan
Bucket Standar	Geometri eksisting
Bucket R500	Radius kelengkungan 500 mm
Bucket R700	Radius kelengkungan 700 mm

Geometri bucket dimodelkan berdasarkan desain yang digunakan pada sistem debris filter PLTU Nagan Raya.

3.3.3 Data Pendukung

Data pendukung digunakan untuk memperkuat analisis dan interpretasi hasil penelitian. Data tersebut meliputi:

1. Dokumentasi kondisi bucket di lapangan.
2. Dokumentasi kerusakan bucket.
3. Dokumentasi bekas gesekan bucket dengan strainer.
4. Dokumentasi kegiatan pemeliharaan debris filter.
5. Laporan hasil simulasi CFD yang digunakan sebagai acuan penelitian.

3.4 Perangkat Penelitian

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan selama proses pemodelan dan simulasi CFD.

Tabel 3.2 Perangkat Penelitian

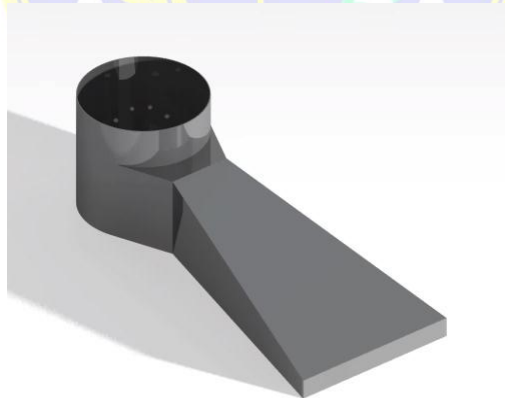
No	Perangkat	Fungsi
1	Komputer PC	Menjalankan simulasi CFD
2	Software CAD	Pemodelan geometri
3	ANSYS Fluent	Simulasi CFD
4	Microsoft Excel	Pengolahan data
5	Microsoft Word	Penyusunan laporan

Perangkat lunak CFD digunakan untuk melakukan simulasi aliran fluida pada setiap variasi geometri bucket sehingga dapat diperoleh karakteristik aliran dan distribusi gaya yang bekerja pada bucket.

3.5 Pemodelan Geometri dan Domain Simulasi

3.5.1 Bucket Standar

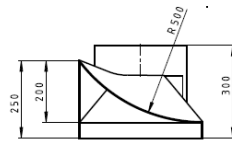
Bucket standar merupakan geometri yang digunakan pada kondisi aktual sistem debris filter. Geometri ini memiliki profil yang relatif datar sehingga aliran fluida yang mengenainya mengalami perubahan arah secara tiba-tiba. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan turbulensi dan meningkatkan gaya hambat yang bekerja pada bucket.



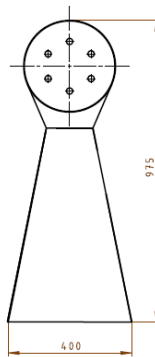
Gambar 3.2 Bucket Standar

3.5.2 Bucket Modifikasi R500

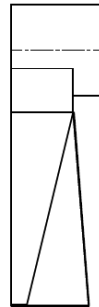
Bucket modifikasi R500 merupakan hasil pengembangan geometri bucket standar dengan menambahkan profil lengkung menggunakan radius kelengkungan 500 mm. Modifikasi ini bertujuan untuk menghasilkan aliran yang lebih halus sehingga dapat mengurangi turbulensi dan meningkatkan kemampuan hisap menuju saluran *backwash*.



Pand.BAWAH
Skala: 1:10



Pand.DEPAN
Skala: 1:10

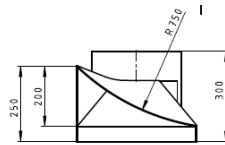


Pand.KIRI
Skala: 1:10

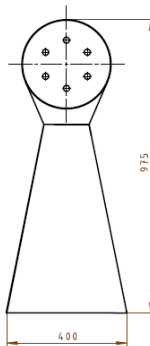
Gambar 3.3 Bucket Modifikasi R500

3.5.3 Bucket Modifikasi R700

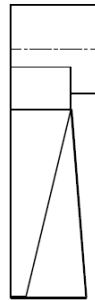
Bucket modifikasi R700 merupakan variasi kedua yang menggunakan radius kelengkungan sebesar 700 mm. Geometri ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh perubahan radius lengkung yang lebih besar terhadap karakteristik aliran dan gaya hidrodinamika yang bekerja pada bucket.



Pand.BAWAH
Skala: 1:10



Pand.DEPAN
Skala: 1:10

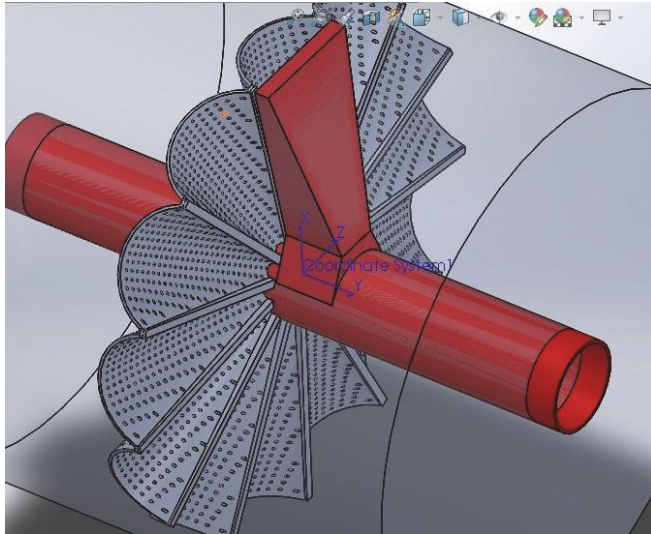


Pand.KIRI
Skala: 1:10

Gambar 3.4 Bucket Modifikasi R700

3.5.4 Domain Simulasi

Domain simulasi merupakan representasi ruang aliran yang digunakan dalam proses perhitungan CFD. Domain dibuat dengan mempertimbangkan jalur aliran air laut dari sisi masuk menuju kondensor dan saluran backwash. Penyederhanaan geometri dilakukan tanpa mengubah karakteristik utama aliran sehingga kebutuhan komputasi dapat dikurangi



Gambar 3.5 Domain Simulasi CFD

Domain simulasi tersebut digunakan pada seluruh variasi bucket sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan secara langsung berdasarkan parameter yang sama.

3.6 Pembuatan Mesh

Setelah proses pemodelan geometri dan domain simulasi selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah pembuatan *mesh* (*meshing*). *Meshing* merupakan proses pembagian domain fluida menjadi sejumlah elemen-elemen kecil yang digunakan sebagai dasar perhitungan numerik pada metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Kualitas *mesh* yang baik sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi hasil simulasi karena seluruh persamaan konservasi massa dan momentum akan diselesaikan pada setiap elemen *mesh* yang terbentuk.

3.6.1 Jenis Mesh

Jenis *mesh* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *unstructured mesh*. Pemilihan jenis *mesh* tersebut dilakukan

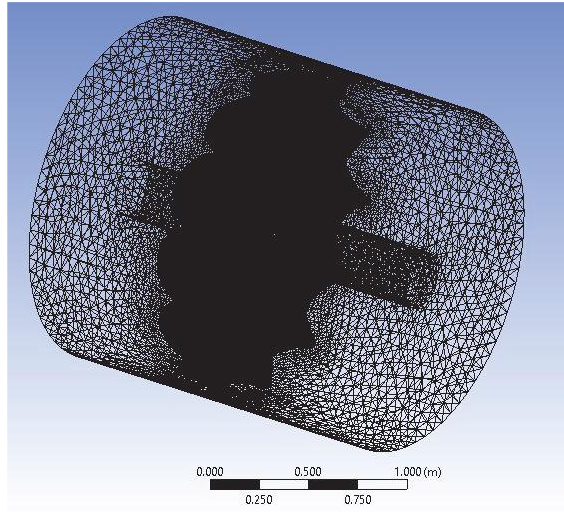
karena geometri debris filter dan bucket memiliki bentuk yang kompleks sehingga memerlukan fleksibilitas dalam proses pembentukan elemen. *Mesh* tidak terstruktur mampu mengikuti kontur geometri dengan lebih baik dibandingkan *mesh* terstruktur sehingga dapat meningkatkan akurasi perhitungan pada area yang memiliki perubahan bentuk yang signifikan.

3.6.2 Jumlah *Mesh*

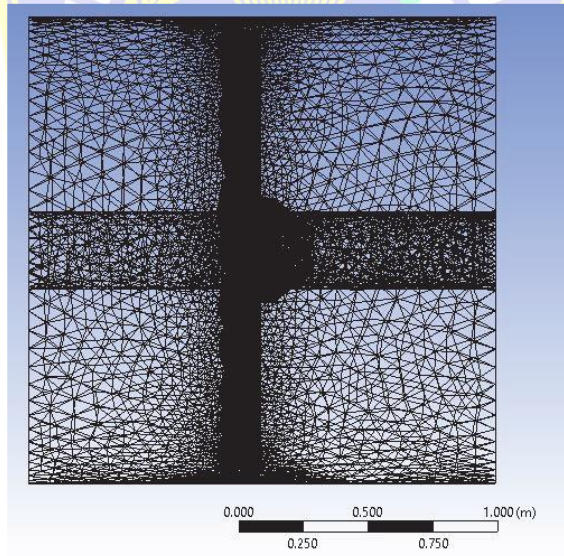
Jumlah elemen *mesh* yang digunakan pada simulasi disesuaikan dengan kompleksitas geometri dan kebutuhan akurasi perhitungan. Domain simulasi dibagi menjadi jutaan elemen komputasi sehingga distribusi aliran di sekitar bucket dan strainer dapat direpresentasikan dengan baik. Jumlah *mesh* yang digunakan mengacu pada model simulasi yang terdapat pada laporan CFD sehingga mampu menghasilkan hasil simulasi yang stabil dan representatif terhadap kondisi aktual sistem.

3.6.3 Kualitas *Mesh*

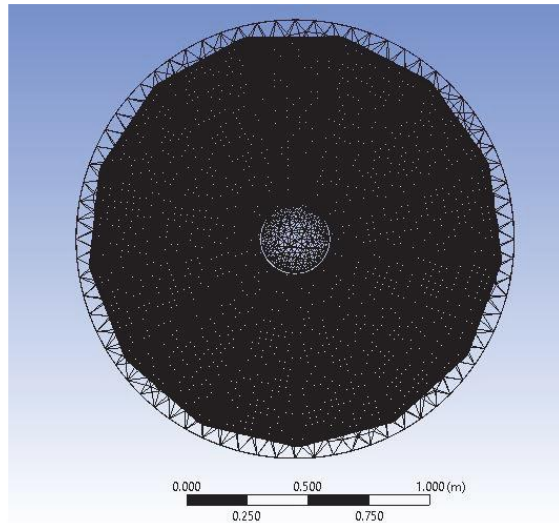
Kualitas *mesh* diperiksa untuk memastikan bahwa elemen-elemen yang terbentuk memiliki bentuk dan ukuran yang sesuai sehingga tidak menimbulkan kesalahan numerik selama proses simulasi. *Mesh* yang baik ditandai dengan distribusi elemen yang merata, tidak terdapat distorsi berlebihan, serta mampu mengikuti bentuk geometri domain dengan baik. Pemeriksaan kualitas *mesh* dilakukan sebelum simulasi dijalankan untuk menjamin kestabilan proses iterasi dan meningkatkan akurasi hasil simulasi.



Gambar 3.6 Mesh isometrik



Gambar 3.7 Mesh samping



Gambar 3.8 Mesh depan

3.7 Pengaturan Simulasi CFD

Pengaturan simulasi dilakukan untuk merepresentasikan kondisi operasi debris filter yang mendekati kondisi aktual di lapangan. Pengaturan tersebut meliputi sifat fluida, kondisi batas, model turbulensi, parameter solver, dan kriteria konvergensi.

3.7.1 Sifat Fluida

Fluida yang digunakan pada simulasi adalah air laut yang diasumsikan sebagai fluida inkompresibel (incompressible fluid). Asumsi tersebut digunakan karena perubahan densitas fluida selama proses aliran relatif kecil sehingga tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil simulasi. Sifat fluida yang digunakan dalam simulasi disesuaikan dengan kondisi operasi sistem *Open Cycle Cooling Water* PLTU Nagan Raya. Langkah-langkah pengujian sensor adalah sebagai berikut:

3.7.2 *Boundary Condition*

Boundary condition merupakan kondisi batas yang digunakan untuk mendefinisikan karakteristik aliran pada domain simulasi. Pada penelitian ini digunakan beberapa kondisi batas, yaitu:

1. *Inlet*, sebagai saluran masuk aliran air laut menuju debris filter.
2. *Outlet* Kondensor, sebagai saluran keluaran menuju kondensor.
3. *Outlet Backwash*, sebagai saluran keluaran menuju sistem backwash.
4. *Wall*, sebagai seluruh permukaan padat yang berinteraksi langsung dengan fluida.

Penentuan *boundary condition* dilakukan berdasarkan kondisi operasi aktual agar hasil simulasi mampu merepresentasikan kondisi lapangan secara lebih akurat.

3.7.3 *Model Turbulensi*

Aliran yang terjadi pada debris filter termasuk dalam kategori aliran turbulen karena memiliki bilangan Reynolds yang tinggi. Oleh karena itu, digunakan model turbulensi standar $k-\epsilon$ (*standard k-epsilon turbulence model*) untuk memprediksi karakteristik aliran turbulen yang terjadi pada domain simulasi.

Model turbulensi $k-\epsilon$ dipilih karena memiliki tingkat kestabilan yang baik, kebutuhan komputasi yang relatif rendah, serta banyak digunakan pada simulasi aliran industri yang melibatkan geometri kompleks. Selain itu, model ini mampu memberikan hasil yang cukup akurat dalam memprediksi distribusi kecepatan, distribusi tekanan, dan energi kinetik turbulen pada sistem debris filter.

3.7.4 *Parameter Solver*

Parameter solver yang digunakan dalam simulasi CFD ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter Simulasi CFD

Parameter	Metode
<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	PISO
<i>Gradient</i>	<i>Least Squares Cell Based</i>
<i>Pressure</i>	<i>Second Order</i>
<i>Momentum</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Turbulent Kinetic Energy</i>	QUICK
<i>Turbulent Dissipation Rate</i>	QUICK
<i>Convergence Criteria</i>	$1/R < 10^{-3}$
<i>Maximum Iteration</i>	600

3.7.5 Kriteria Konvergensi

Simulasi dianggap telah mencapai kondisi konvergen apabila nilai residual dari setiap persamaan yang diselesaikan telah memenuhi kriteria konvergensi yang ditetapkan. Pada penelitian ini nilai residual ditetapkan lebih kecil dari 10^{-3} sehingga hasil simulasi yang diperoleh dianggap stabil dan dapat digunakan untuk proses analisis lebih lanjut.

3.8 Tahapan Simulasi CFD

Proses simulasi CFD dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu *pre-processing*, *solving*, dan *post-processing*.

3.8.1 Pre-Processing

Tahap *pre-processing* merupakan tahap persiapan sebelum simulasi dijalankan. Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini meliputi:

1. Pembuatan geometri bucket standar dan bucket modifikasi.
2. Pembuatan domain fluida.
3. Proses *meshing*.
4. Penentuan sifat fluida.

5. Penentuan *boundary condition*.
6. Penentuan model turbulensi.

3.8.2 Solving

Tahap *solving* merupakan proses penyelesaian persamaan numerik menggunakan *solver* CFD. Pada tahap ini perangkat lunak melakukan iterasi secara berulang untuk menyelesaikan persamaan konservasi massa dan momentum hingga mencapai kondisi konvergen sesuai kriteria yang telah ditentukan.

3.8.3 - Post-Processing

Tahap *post-processing* dilakukan untuk mengolah dan menampilkan hasil simulasi dalam bentuk visual maupun data numerik. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi:

1. *Velocity contour* (distribusi kecepatan).
2. *Pressure contour* (distribusi tekanan).
3. *Pathline* aliran.
4. *Turbulent kinetic energy*.
5. Gaya hidrodinamika yang bekerja pada bucket.
6. Torsi yang dihasilkan oleh aliran fluida.

3.9 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada bucket standar, bucket R500, dan bucket R700.

3.9.1 - Analisis Distribusi Kecepatan

Analisis distribusi kecepatan dilakukan untuk mengetahui pola aliran dan perubahan kecepatan fluida yang terjadi pada setiap variasi bucket. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kemampuan geometri bucket dalam mengarahkan aliran menuju kondensor dan saluran backwash.

3.9.2 - Analisis Distribusi Kecepatan

Analisis distribusi tekanan dilakukan untuk mengetahui perubahan tekanan yang terjadi pada domain simulasi.

Distribusi tekanan digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan terbentuknya hambatan aliran dan pengaruhnya terhadap karakteristik aliran pada debris filter.

3.9.3 - Analisis Pathline Aliran

Analisis pathline dilakukan untuk mengamati lintasan aliran fluida yang melewati bucket. Hasil pathline digunakan untuk mengidentifikasi daerah resirkulasi, arah aliran, dan efektivitas geometri bucket dalam mengarahkan aliran.

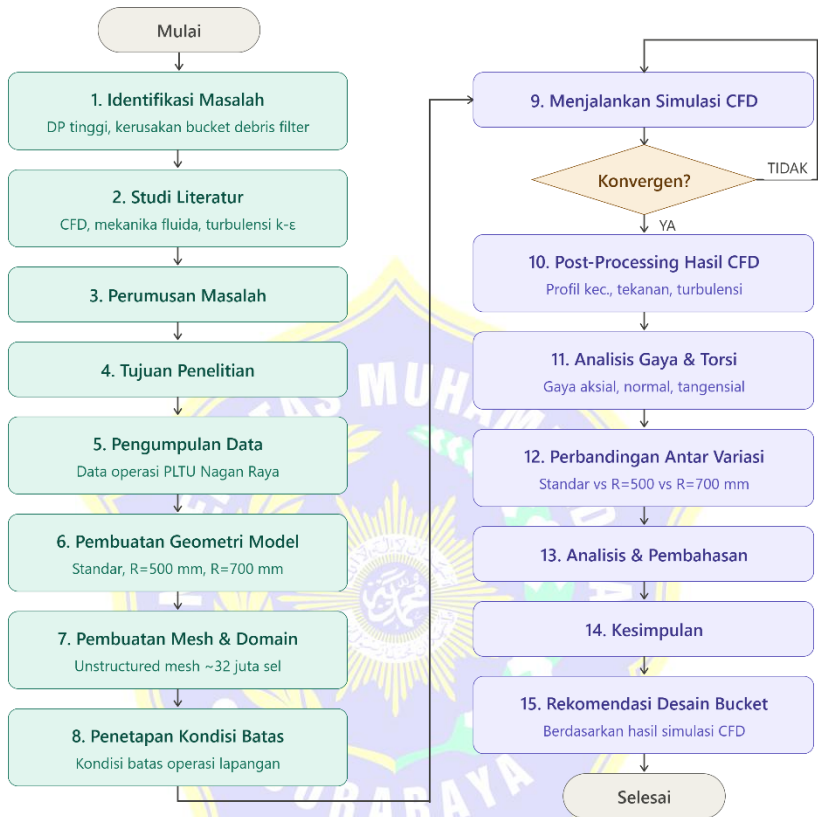
3.9.4 - Analisis Turbulensi

Analisis turbulensi dilakukan berdasarkan distribusi energi kinetik turbulen (*turbulent kinetic energy*). Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat turbulensi yang terjadi pada masing-masing variasi bucket serta pengaruh modifikasi geometri terhadap stabilitas aliran.

3.9.5 - Analisis Gaya dan Torsi

Analisis gaya dan torsi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh aliran terhadap bucket. Parameter yang dianalisis meliputi gaya aksial, gaya normal, gaya tangensial, dan torsi. Hasil analisis digunakan untuk menentukan konfigurasi bucket yang memiliki karakteristik hidrodinamika terbaik.

3.10 Kerangka Berpikir



Gambar 3.9 Kerangka Berpikir