

BAB II DASAR TEORI

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Roda *Bogie*

Bogie merupakan sistem kesatuan roda yang biasanya digunakan pada Kereta Api, baik di kereta penggerak maupun kereta non penggerak. Namun, penggunaan roda *bogie* tidak hanya untuk kereta api saja melainkan bisa juga untuk shiploader. Dimana fungsinya untuk menggerakkan shiploader dengan arah kiri atau kanan guna membantu dalam pengangkutan batu bara ke dalam kapal / tongkang.

Bogie adalah suatu konstruksi yang terdiri dari dua perangkat roda atau lebih yang digabungkan oleh rangka yang dilengkapi dengan sistem pemegasan, pengereman, dengan atau tanpa peralatan penggerak dan anti selip, serta keseluruhan berfungsi sebagai pendukung rangka dasar dari badan shiploader (Inka, 2015). *Bogie* dapat di lepas dan dipasangkan kembali jika sedang dilakukan perawatan.

Fungsi utama *bogie* adalah menghasilkan fleksibilitas shiploader terhadap rel sehingga roda dapat tetap mengikuti arah rel. Pada keadaan ini, akan terjadi kontak antara *flens* dengan rel pada salah satu sisi rodanya. Pada kereta tanpa *bogie* maka sudut ini terbatas karena roda akan selalu segaris dengan badan shiploader maka roda akan naik ke atas rel dan akhirnya terjadi *derailment* atau anjlok.



Gambar 2.1 Roda *Bogie*
(Ilham, 2023)

2.1.2. Komponen-Komponen Roda *Bogie*

A. *Bushing*

Bushing adalah salah satu komponen yang fungsinya terbilang cukup penting. *Bushing* merupakan bagian yang membatasi antara *Safety Pin* dengan *Bogie* dimana bentuk *bushing* yaitu silinder bercelah untuk menumpu poros yang mempunyai diameter yang sama atau yang telah distandarkan dimana diameter dalamnya 50 mm dan diameter luarnya 75 mm (Aliyus, 2021).



Gambar 2.2 *Bushing* Roda *Bogie*

Selain untuk membatasi, *bushing* juga berfungsi sebagai pelindung *bogie* dari gesekan *shaft*, maka dari itu *bogie* tidak cepat rusak serta berfungsi sebagai perantara untuk memasukkan *Shaft/AS* pada lubang *bogie*. Komponen *bushing* menggunakan material *Bronze Aluminium* yang terdiri dari 4 – 11% Al, mempunyai sifat – sifat mekanik yang tinggi dan tahan korosi serta mudah dituang (Samlawi & Siswanto, 2016). Ukuran standar untuk diameter luar *bushing* sebesar 120 mm, dengan diameter dalam 90 mm, serta panjangnya 150 mm. Selain menggunakan material *Bronze Aluminium*, material *bushing* juga bisa menggunakan logam perunggu (*bronze metal*), dan kuningan (*brazz*).

B. *Washer / Shim*

Washer/shim merupakan salah satu komponen yang berfungsi sebagai batasan antara *bushing* dengan *frame* agar tidak terjadi gesekan antara baja dengan baja (Baja, 2022). *Washer* juga berfungsi sebagai tahanan *bushing* apabila *Shiploader*

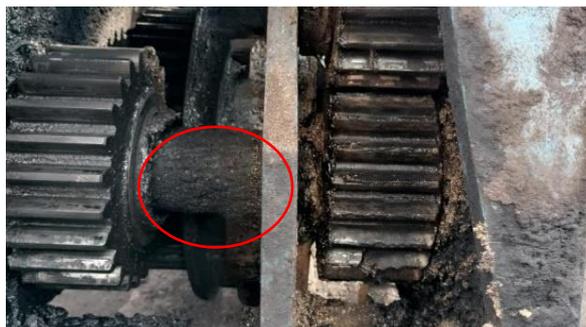
beroperasi agar *bogie* tersebut tidak bergerak miring sehingga *bogie* bergerak lurus pada landasan *track plate* sehingga gesekan dapat dihindarkan.



Gambar 2.3 *Washer / Shim*
(Inka, 2015)

C. Poros *Bogie / Shaft*

Shaft berfungsi sebagai poros pada *bogie* dan sebagai pengunci yang sudah dipress dengan *washer* dibagian kanan pada *frame* (Widodo, 2022). Pada *shafty* pin memiliki 6 buah logam yang berfungsi sebagai pasak (*dowelpin*) dan 3 tempat mur pengunci antara *bogie* dan *washer* sedangkan pada bagian tengahnya terdapat lubang *grease*.



Gambar 2.4 Poros *Bogie*

D. *Bogie Frame*

Bogie frame adalah bagian utama *bogie* yang digunakan untuk menopang seluruh badan *shiploader*, menghubungkan *bogie* ke *wheel set*, dan menopang komponen *bogie* lainnya (Monalisa, 2022). *Frame* merupakan komponen yang berfungsi untuk mengunci *bogie* dengan menggunakan *safety pin*.



Gambar 2.5 *Bogie Frame*
(Bachmann, 2023)

2.1.3. Pengertian Perancangan

Perancangan merupakan sebuah tahapan sebelum memasuki proses produksi dimana pada tahap ini digunakan untuk merencanakan sebuah proses produksi serta bagaimana cara memproduksi suatu produk. Dalam proses Perancangan meliputi beberapa langkah, seperti menganalisis, menilai, memperbaiki, dan menyusun suatu sistem fisik maupun non fisik guna mengoptimalkan waktu pada saat proses produksi berlangsung. Pada proses Perancangan dapat dijadikan wadah untuk menuangkan ide, gagasan serta konsep guna mewujudkan suatu hal. Berdasarkan pendapat (S Salimin & I Adha, 2018) dijelaskan bahwa perancangan merupakan suatu poses dengan tujuan menganalisis, menilai, memperbaiki serta menyusun sistem yang berupa fisik maupun non fisik sehingga waktu yang digunakan dapat optimal.

2.1.4. *Autodesk Inventor*

Salah satu *software* CAD yang digunakan dalam penelitian ini ialah *Autodesk Inventor*. Pada mulanya diartikan sebagai *Computer Aided Drafting* atau dalam bahasa Indonesia berarti penggambaran berbantu komputer karena fungsi CAD yang benar-benar dapat menggantikan meja gambar tradisional (Arifin et al., 2020). *Autodesk Inventor* adalah program pemodelan solid berbasis fitur parametrik, artinya semua objek dan hubungan antar geometri dapat dimodifikasi kembali meski geometrinya sudah jadi tanpa perlu mengulang lagi dari awal (Wibawa, 2017). Hal ini sangat memudahkan dalam proses desain suatu produk atau rancangan. Untuk membuat suatu model 3D yang solid ataupun surface, harus dibuat *sketch*-nya terlebih dahulu atau mengimpor gambar 2D dari *Autodesk*

Autocad. Setelah gambar atau model 3D tersebut jadi, kemudian dapat dilanjutkan membuat gambar kerjanya menggunakan fasilitas *drawing*.



Gambar 2.6 *Autodesk Inventor 2021*
(Autodesk Inventor App, 2023)

Tidak hanya sampai pada menampilkan gambar kerja, *Autodesk Inventor* juga mampu memberikan simulasi pergerakan dari produk yang didesain serta mempunyai alat untuk menganalisis kekuatan (Wibawa, 2017). Alat ini cukup mudah digunakan dan dapat membantu untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang harus dikeluarkan akan berkurang, *time to market* dari benda yang didesain pun dapat dipercepat karena sudah disimulasikan terlebih dahulu benda yang didesain di komputer sebelum masuk ke proses produksi.

2.1.5. *Software Ansys Workbench 2021*

Salah satu *software* berbasis *Finite Element Analysis (FEA)* adalah *software Ansys*. *Ansys* adalah paket pemodelan elemen hingga untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan mekanika, termasuk statis, dinamis, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida, dan masalah yang berkaitan dengan akustik dan elektromagnetik.



Gambar 2.7 Logo *Software ANSYS*
(Ansys App, 2023)

Dalam aplikasinya *Ansys* terbagi menjadi dua berdasarkan dimensinya, yaitu:

a. *Ansys Classic*

Ansys ini menyelesaikan problema dalam 2 dimensi seperti: sistem solid dalam bidang 2 dimensi dan perpindahan panas dalam 2 dimensi.

b. *Ansys Workbench*

Ansys ini menyelesaikan problema dalam 3 dimensi seperti: sistem solid dalam 3 dimensi dan masalah aliran fluida pada pipa dalam 3 dimensi

Secara umum, solusi *Computational Fluid Dynamic* dengan *Ansys* dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu sebagai berikut:

a. Pendefinisian masalah (*Preprocessing*)

Pada tahap ini terdiri dari: (i) mendefinisikan *keypoint/lines/areas/volume*, (ii) mendefinisikan bahan yang digunakan beserta tipe elemennya, dan (iii) *mesh lines/areas/volumes* sesuai kebutuhan.

b. *Solution: Assigning loads, Constraints, and Solving*

Pada tahap ini menentukan titik dimana akan diberi beban, *constrain* (translasi dan rotasi) dan menyelesaikan hasil persamaannya.

c. *Postprocessing: Further processing and Viewing of The Results*

Pada tahap ini dapat dilihat daftar pergeseran nodal, gaya elemen dan momentum, *plot deflection* serta diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetaan suhu.

2.1.6. Konsep *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

CFD merupakan metode komputasi yang digunakan untuk mempelajari dinamika fluida. Analisis CFD dilakukan untuk mengevaluasi kinerja hidrodinamik dari berbagai konfigurasi desain (Putra Maulana & Arifin, 2023). Sifat properti material, kondisi operasi, reaksi yang terjadi serta bentuk geometri ruang tempat fluida mengalir akan sangat mempengaruhi dinamika fluida pada saat fluida tersebut berpindah. Metode CFD dapat memberikan informasi dinamika fluida seperti kecepatan fluida, arah alir fluida, tekanan, temperatur serta konsentrasi secara simultan. Hasil perhitungan dapat ditampilkan dalam bentuk degradasi warna, plot kontur atau vektor kecepatan. Komputer digunakan untuk melakukan

perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi antara zat cair dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas (Anderson, 1995).

Simulasi CFD dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu preprocessing, solving, dan postprocessing (Tuaika, 2008). *Preprocessing* merupakan pembuatan model objek penelitian dengan *format Computer Aided Design (CAD)*, membuat mesh sesuai desain, kemudian meenerapkan kondisi batas dan sifat fluidanya. *Solvers* (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Sementara itu, *Post processing* adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD berupa gambar, kurva, atau animasi (Maulana, 2016).

a. Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*)

Fungsi potensial aliran ϕ yang tidak diketahui ditentukan pada titik-titik simpul *grids* ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk memperoleh pendekatan dalam bentuk finite difference turunan dari potensial aliran ϕ tersebut. Dengan mensubstitusikan setiap turunan yang ada pada persamaan aliran melalui pendekatan tersebut, maka akan diperoleh suatu persamaan aljabar untuk setiap titik *grid* Fox & Mc.Donald's (1998)

Persamaan-persamaan dasar yang digunakan dalam analisa aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum (Nugroho, 2010).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \quad (2.1)$$

Dimana,

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan ke arah sumbu X

v = Komponen Kecepatan ke arah sumbu Y

w = Komponen Keceptan ke arah sumbu Z

t = Waktu

ρ = Densitas

Atau dapat ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= 0 \\ \frac{D\rho}{Dt} + \rho \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= 0 \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho v) &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga persamaan diatas merupakan persamaan kekekalan massa atau persamaan kontinuitas pada titik di dalam fluida yang dapat dimampatkan (*compressible*). Suku pertama merupakan perubahan rata-rata kerapatan fluida persatuan waktu (massa per satuan volume). Suku kedua merupakan massa aliran yang meninggalkan elemen fluida, dikenal juga dengan suku konveksi. Pada fluida yang bersifat *incompressible* (misalnya cairan), kerapatannya bersifat tetap sehingga persamaan diatas menjadi persamaan berikut (Putra Maulana & Arifin, 2023):

$$\text{div}(U) = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

b. Hukum Kekekalan Momentum

Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada partikel tersebut. Pertambahan momentum persatuan volume pada partikel fluida diberikan oleh persamaan berikut (Nugroho, 2010).

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \frac{Dv}{Dt} = \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (2.3)$$

c. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga atau *Finite Element Analysis* (FEA) dilakukan menggunakan *software ANSYS Workbench* yang merupakan sebuah perangkat

lunak yang dapat mensimulasikan dan menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*), salah satunya melakukan analisa struktur. Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (*residual*) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan. Berikut merupakan beberapa tahapan dalam menganalisa struktur menggunakan *Ansys Workbench*:

1. *Material Properties/Engineering data*
 2. Geometri
 3. *Meshing/Model*
 4. Pembebanan dan Analisa
 5. Hasil
- d. Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*)

Metode ini dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi *CFD code* meliputi teknik-teknik pendiskritan yang cocok untuk menyelesaikan fenomena perpindahan, konveksi (akibat aliran fluida) dan difusi (akibat adanya perbedaan antara satu titik dengan titik lainnya), serta *source* (berhubungan dengan muncul dan hilangnya). Kekekalan variabel aliran dalam *finite control volume* dapat diekspresikan dengan persamaan keseimbangan bahwa perubahan dalam control volume terhadap waktu sama

dengan penjumlahan perubahan dari konveksi ke dalam kontrol volume, dan difusi ke dalam kontrol volume serta perubahan ke dalam kontrol volume.

e. Simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) merupakan metode perhitungan menggunakan kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputer. Prinsip perhitungan CFD diawali dengan membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen terintegrasi. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya – gaya yang bekerja pada model ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu. Kondisi batas dalam hal ini diperlukan sebagai input. Prinsip ini sering dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip tersebut adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah penemuan CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai dikenal pada tahun 70 an, awal pemakaian konsep CFD hanya terbatas pada aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD semakin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Sebagai contoh adalah semakin berkembangnya software CAD yang memiliki kompatibilitas tinggi dengan CFD, baik dalam kelengkapan *tool* maupun dalam pendukung konsep perhitungan untuk menganalisa gaya yang terjadi pada model analisa. Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai untuk memprediksi :

1. Aliran suatu fluida beserta distribusi temperaturnya
2. Transfer massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti oksidasi (pembakaran)
5. Gerakan mekanis seperti piston, fan dan propeller pada kapal
6. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
7. Gelombang elektromagnet.

f. Persamaan Dasar Dinamika Fluida pada CFD

Pada dasarnya semua jenis CFD menggunakan persamaan dasar (*governing equation*) dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

1. Hukum Kekekalan Massa (*The Conservation of Mass*)
2. Hukum Kedua Newton (*Newton's Second Law of Motion*)
3. Hukum Kekekalan Energi

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut selalu diikuti:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (Hukum Kekekalan Massa, Hukum Kedua Newton, Hukum Kekekalan Energi)
2. Menerapkan prinsip-prinsip fisika di dalam model aliran. Dari penerapan, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika dasar.

g. Pemodelan dan Simulasi Numerik

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan software antara lain:

1. Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Secara umum proses simulasi dengan menggunakan CFD dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu *Pre Processor*, *Solver Manager (flow solution)*, *Post Processor (Analyse and Visualise)*, yang akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut :

1. *Pre Processor*

Proses ini dapat dimulai dengan membuat model yang akan dianalisa, kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian domain dan kondisi batas (*boundary condition*). Pada tahap ini model beserta ruangan yang akan dianalisa dibagi – bagi sejumlah *grid* tertentu atau juga disebut dengan *meshing*.

Pada tahap awal pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran untuk software melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian solver. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan pada software meliputi :

- a. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi
- b. Membentuk *Grid Generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (subdomain)
- c. Penentuan fenomena fisika dan kimia dari model
- d. Penentuan sifat-sifat fluida (*boudary condition*), seperti pendefinisian harga densitas, kekentalan, suhu fluida dan lain-lain
- e. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah disekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan
- f. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *Grid (Mesh)*

Analisa masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap cell. Jumlah cell dalam *grid (mesh)* menentukan akurasi penyelesaian *software*. Pada umumnya semakin banyak cell semakin akurasi penyelesaiannya. Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan cell tidak mempengaruhi hasil dari analisa. Untuk itu pengguna *software* dituntut untuk menentukan jumlah cell atau elemen yang optimum. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses *meshing* dilakukan dengan sangat halus, sedang untuk daerah yang lain dilakukan dengan sedikit lebih kasar.

2. *Solver Manager* (Penyelesaian Perhitungan)

Tahap selanjutnya adalah *processor /solver*, pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap *volume control* dengan proses integrasi persamaan diskrit. *Solver* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*.

Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- b. Diskretisasi dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika. Penyelesaian dari persamaan aljabar Metode finite volume adalah pengembangan khusus dari formulasi finite difference. Finite volume digunakan pada berbagai code CFD komersial seperti : PHOENICS, CFX, FLUENT, NUMECA, FLOW3D dan STARCD.

3. *Post Processor* (*Analyse and visualize*)

Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data *visualise* aliran fluida pada model. Data *numeric* yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, data sifat fluida yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1. Nilai yang dapat dilihat pada simulasi CFD

NILAI	
<i>Density</i>	Kekentalan densiti
<i>Eddy Viscosity</i>	Koefisien perpindahan panas
Nilai dari mach	Tekanan
Tekanan <i>Gradient</i>	<i>Shear Strain rate</i>
<i>Specific Capacity Heat Transfer Rate</i>	Entalpi statis
Suhu	<i>Termal Conductivity</i>

NILAI	
Total entalpi	Total suhu
Total tekanan	Turbulen energi kinetik
Kecepatan	<i>Wall Heat flux</i>
Gaya gesek	Y_{plus}
Koordinat	

Sedangkan data visualisasi model yang bisa ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- a. Gambar geometri model
- b. Gambar *surface* sifat fluida
- b. Animasi aliran fluida
- c. Tampilan *vector* kecepatan
- d. Gerakan rotasi, translasi dan penyekalaan
- e. Arah aliran fluida
- f. *Hardcopy output*

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma menurut AIAA (*American Institute of Aeronautics and Astronautics*) yaitu :

1. Konvergensi, yaitu *property* metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran *control volume* atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk kondisi lapangan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linear memerlukan konvergensi
2. Konsistensi, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (*equivalen*) dengan persamaan pengendali sebagai jarak *grid* mendekati nol.
3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan *path* data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

CFD memberikan hasil fisik yang realistik dengan akurasi yang baik *path* simulasi dengan *grid* yang berhingga. Ada tiga sifat perhitungan *finite volume*, yaitu *conservativeness*, *boundedness*, dan *transportiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Disamping itu ketiganya umumnya digunakan sebagai alternative untuk konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *conservativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan sifat-sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaian. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekentalan *property* fluida CFD untuk tiap *control volume*.

2.1.7. Meshing

Meshing merupakan sebuah proses sebelum menentukan *boundary condition* dalam menganalisa sebuah komponen dengan cara membagi model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Semakin kecil nilai *meshing* maka semakin kecil pula pembagian elemen pada model, sehingga hasil yang diperoleh semakin akurat serta sebaliknya apabila nilai *meshing* semakin besar maka pembagian model juga kurang akurat.

Proses *meshing* merupakan sebuah proses yang cukup penting, apabila *meshingnya* kurang baik maka hasil yang diperoleh pun dapat berbeda bahkan tidak mendekati kondisi sebenarnya. *Meshing* yang baik memiliki kualitas dengan rata-rata nilai diantara 0.0 – 0.4 mm, kualitas sedang memiliki rata-rata antara 0.5 – 0.7 mm, dan kualitas buruk memiliki nilai rata-rata 0.8 – 1.0 mm.



Gambar 2.8 Contoh hasil *meshing*
(Ansys, 2023)

2.1.8. Material

Pemilihan material termasuk ke dalam salah satu proses perancangan sebuah produk yang harus diperhatikan. Mulai dari kualitas, kekuatan, harga serta ketersediaan material di pasaran. Sehingga dapat menghasilkan sebuah produk yang diinginkan dengan kualitas yang bagus.

A. *Bronze*

Bronze (Perunggu) merupakan sebuah gabungan antara tembaga, timah, dan fosfor yang dikenal akan kekuatannya, daya tahan, butiran halus serta koefisien gesek yang rendah (Thorp, 2013). Perunggu fosfor sering kali diproduksi dalam bentuk tabung, kabel, batangan, lembaran, serta pelat. Adanya kandungan fosfor membuat paduan ini mempunyai *fluiditas* dan *castability* yang besar dalam keadaan cair. Sedangkan timah meningkatkan ketahanan dan kekuatan korosinya. Penggunaan paduan ini biasanya untuk membuat pegas, *bushing* lengan, bantalan, batang las, mur, baut, dan lain sebagainya (Thorp, 2013)

B. *Alluminium*

Alluminium merupakan logam berlimpah dengan urutan ketiga yang elemennya berjumlah sekitar 8% dari permukaan bumi. *Alluminium* merupakan sebuah konduktor listrik dan panas yang cukup baik sehingga tahan terhadap korosi dan juga termasuk material kuat dengan bahan yang ringan (American Chemical Society, 2001).

C. *Structure Steel*

Structure Steel merupakan baja yang memiliki kandungan logam, tertentu seperti *nikel, mangan, chromium, tungsten, molybdenum, dan vanadium*. Dengan Penambahan beberapa logam tersebut ke dalam baja dapat menjadikan sifat mekanik dan kimia yang terdapat pada baja menjadi lebih keras, kuat, dan ulet (Adianto, 2020).

2.1.9. Material Fluida

Material fluida (pelumas) yang digunakan pada *bushing* ini ialah *Grease Pertamina EPX-NL2*. Gemuk ini diformulasikan dari bahan sbaun *Lithium 1,2*

Hydroxystearate dengan aditif lengkap diperkuat dengan aditif *Extreme Pressure* yang tidak mengandung logam berat Pb.

Gemuk Pertamina EPX-NL2 dianjurkan untuk *rolling* dan *plain bearing* serta pemanfaatan lainnya, bahkan untuk lingkungan yang basah dan penggunaan dengan kondisi beban kerja yang berat pada suhu operasi sampai 250° F (120° C).



Gambar 2.9 Grease Pertamina EPX-NL2
(Ilham, 2023)

2.2. Kajian Literatur

Dalam melakukan penulisan laporan akhir diperlukan suatu penelitian terlebih dahulu untuk menjadikan sebuah referensi yang kemudian akan diobservasi. Berikut merupakan beberapa referensi yang berhubungan dengan penelitian pada laporan ini:

Penelitian yang dilakukan Guo, Caiping. (2022) mengenai *Optimal Design of Sliding Bearings Based on Artificial Intelligence Algorithm and CFD Simulation* (Desain Optimal Bantalan Geser Berbasis Buatan Algoritma Intelijen dan Simulasi CFD), dapat ditarik kesimpulan Data percobaan menunjukkan bahwa klasifikasi menggunakan algoritma kecerdasan buatan dan simulasi CFD dapat meningkatkan kinerja bantalan geser secara signifikan. Ditemukan bahwa hubungan antara bantalan geser terkait dengan kecepatan, diameter bantalan, dan faktor lainnya. Data percobaan menunjukkan bahwa algoritme kecerdasan buatan dan simulasi CFD dapat memberikan referensi data yang andal untuk desain bantalan geser yang optimal, dan bantalan geser yang dioptimalkan dapat memenuhi stabilitas dalam kondisi yang relevan.

Penelitian yang dilakukan oleh H.Zhang, X.Guan, T.Wang, AUZ Robin dan CH Mu. (2023) dalam penelitiannya mengenai *Influence of Pressure-Equalizing Groove on Static Load Performance of Aerostatic Guideway* (Pengaruh Alur Penyeamaan Tekanan pada Beban Statis). Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain PEG secara efektif meningkatkan kinerja beban tetapi meningkatkan konsumsi udara. PEG yang diperpanjang menunjukkan kinerja beban terbaik. Ketika eksentrisitas besar, lebar PEG meningkat secara moderat, meningkatkan kapasitas beban dan kekakuan. Sementara meningkatkan kedalaman hanya meningkatkan kekakuan, hal itu berdampak kecil pada kapasitas beban dan konsumsi udara. Ketika eksentrisitasnya kecil, diameter dan jumlah lubang meningkat secara moderat. Data eksperimen konsisten dengan hasil simulasi, menunjukkan keakuratan metode simulasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Li, Qiang., Hu, Yefa., & Wu, Huachun. (2023), mengenai *Structure Design and Optimization of the Radial Magnetic Bearing* (Perancangan Struktur dan Optimasi Radial Bantalan Magnetik). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis topologi struktur bantalan magnet sesuai dengan scenario aplikasi RMB dan mengoptimalkan struktur. Dapat ditarik kesimpulan bahwa bantalan magnet 6 kutub yang dioptimalkan memiliki kapasitas dan stabilitas bantalan yang lebih tinggi; bantalan magnet 8 kutub bekerja lebih baik dibanding 4 kutub; RMB tipe-E 12-kutub lebih unggul dibanding RMB tipe C 8 kutub standar dalam daya dukung, stabilitas, dan kinerja control, tetapi memiliki konsumsi energi yang tinggi.

Penelitian yang dilakukan Turof, M. (2020), yang berjudul *The process of optimizing the radial sliding bearing* (Proses optimalisasi bantalan geser radial). Dengan lebih mengoptimalkan jenis bantalan yang digunakan, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas serta mengurangi biaya. Dalam desain yang optimal, kami mengeliminasi kelemahan yang disajikan dalam desain biasa dan pada awalnya kami menerapkan beberapa batasan untuk material poros, defleksi, kapasitas pendinginan, kami menentukan jenis kecocokan dan toleransi, yang diabaikan dalam desain biasa

Penelitian yang dilakukan oleh Tian, Fanghong, Tang., Chao., Li, Liejun., Wu, Dongbo., Zhang, Qixiao., He, Yihua., Xu, Erling. (2022). Dalam penelitiannya yang berjudul *Optimized design of sliding bearing parameters for electromagnetic direct drive cone crusher* (Desain parameter bantalan geser yang dioptimalkan untuk penghancur kerucut penggerak langsung elektromagnetik). Kegagalan bantalan geser mesin kerucut elektromagnetik penggerak langsung selama operasi uji coba dianalisis. Kemudian struktur bantalan geser dioptimalkan, yang memastikan pengoperasian yang aman dan stabil dari mesin kerucut elektromagnetik penggerak langsung. Setelah motor penggerak langsung dimasukkan ke dalam mesin kerucut hidrolik, mesin kerucut hidrolik dapat mewujudkan pembersihan rongga otomatis, penyesuaian otomatis port pelepasan, pelepasan besi otomatis dan perlindungan beban berlebih, diagnosis kesalahan otomatis, kendali jarak jauh, dan penuh lainnya -kontrol cerdas otomatis dan pengaturan kecepatan motor stepless, dll. sehingga bantalan geser dapat beroperasi secara efektif dan memastikan masa operasi seluruh alat berat.

Berdasarkan hasil dari penelitian terdahulu adanya perbedaan dengan penelitian yang akan diteliti ini, antara lain sebagai berikut:

- a. Pengujian ini menggunakan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
- b. Pengujian ini mengoptimalkan desain saluran oli (*groove*) pada *bushing*.