

BAB 2

KAJIAN TEORI

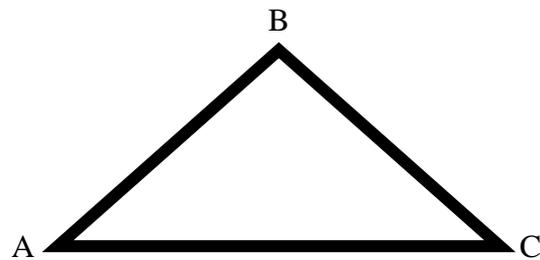
2.1 Pengertian Struktur

Secara garis besar, struktur dibagi menjadi 3 golongan, yaitu :

1. Balok (*beam*) : elemen struktur yang berfungsi untuk memikul beban transversal saja. Suatu balok akan teranalisa dengan lengkap apabila gaya geser dan momennya diketahui.
2. Rangka kaku (*rigid frame*) : struktur yang tersusun dari elemen-elemen yang dihubungkan secara kaku (misalkan hubungan las). Rangka kaku akan teranalisa dengan lengkap apabila gaya geser, aksial dan momennya di seluruh elemen dapat diketahui.
3. Rangka batang (*truss*) : suatu struktur yang seluruh elemen penyusunnya dihubungkan dengan sambungan sendi. Dengan demikian pada rangka batang hanya terdapat gaya aksial.

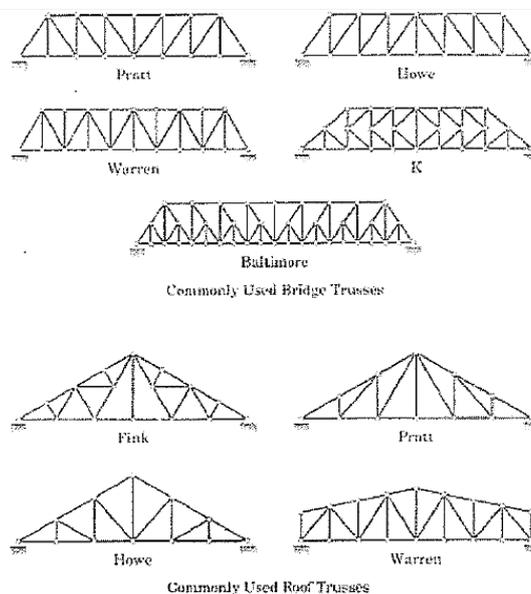
2.1.1 Struktur Trus

Suatu rangka yang disusun dari batang-batang lurus yang dihubungkan pada ujung-ujungnya untuk membentuk struktur yang kokoh disebut Trus. Trus dengan susunan batang-batang terletak pada satu bidang disebut trus bidang (*plane truss*), sebaliknya bila susunan batang-batang trus membentuk konfigurasi tiga dimensi disebut trus ruang (*space truss*). Contoh-contoh umum trus adalah struktur jembatan, atap, mesin derek, menara dan beberapa struktur yang lain. Batang-batang yang digunakan adalah profil I, kanal, sudut, dan batang-batang dengan profil khusus yang dihubungkan bersama-sama pada ujung-ujungnya dengan sambungan keling, las, baut atau pin.



Gambar 2.1 Contoh trus bidang sederhana

Struktur yang sebenarnya dapat tersusun rapi dari beberapa trus bidang yang dihubungkan bersama-sama untuk membentuk rangka ruang (*space frame*). Setiap trus ini dirancang untuk menerima beban yang bekerja pada masing-masing bidangnya dan dengan demikian dapat diperlakukan sebagai trus bidang. Beberapa contoh trus yang umum digunakan ditunjukkan seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Beberapa bentuk trus yang lazim digunakan

2.1.2 Asumsi dan Persyaratan Trus

Sebelum kita membahas beberapa metode untuk menganalisa gaya-gaya luar dan gaya-gaya dalam struktur, terlebih dahulu perlu ditentukan asumsi dan persyaratan trus yang terdiri dari :

1. Trus memenuhi syarat cukup untuk kondisi keseimbangan statika
2. Hubungan antar batang hanya terdapat pada ujung-ujungnya atau tidak ada batang kontinu yang diantaranya terdapat titik hubung (*joint*) dengan batang-batang yang lain

3. Gaya – gaya luar yang bekerja pada trus dianggap terkonsentrasi pada titik-titik hubung dan tidak terdapat gaya – gaya atau momen - momen luar yang bekerja pada batang di antara dua titik hubung
4. Ujung-ujung batang dihubungkan oleh sambungan pin tuna friksi, walaupun sebenarnya dikeling atau dilas. Dengan demikian gaya yang bekerja pada setiap ujung batang berkurang menjadi satu gaya dan tidak ada momen kopel.

Dari uraian di atas, gaya-gaya yang bekerja pada setiap batang trus diasumsikan dua gaya, satu garis kerja, sama besar dan berlawanan arah yang diterima pada setiap ujung batang. Dengan demikian setiap batang dapat diperlakukan sebagai batang dua gaya (*two force member*), dan keseluruhan trus bisa dianggap sebagai susunan batang-batang dua gaya.

2.1.3 Struktur *Frame*

Rangka dan mesin adalah struktur yang sedikitnya terdapat satu elemen individu (*individual member*) berupa elemen banyak gaya (*multiforce member*). Pada struktur ini, sedikitnya satu elemen dikenai 3 gaya atau lebih, umumnya, arah gaya-gaya tersebut tidak diketahui dan tidak searah elemen; dan biasanya dinyatakan dengan 2 komponen gaya yang tidak diketahui. Gaya-gaya yang bekerja pada tiap elemen tersebut dapat diperoleh dengan mengisolasi elemen dengan diagram benda bebas dan menerapkan persamaan keseimbangan.

Rangka adalah struktur kaku sempurna yang dirancang untuk menahan atau mengangkat beban yang biasanya stasioner. Mesin dirancang untuk mentransmisikan dan memodifikasi gaya-gaya (stasioner atau tak stasioner) dan biasanya terdiri dari bagian-bagian yang bergerak. Baik rangka maupun mesin, setiap bagian atau elemennya berupa elemen multi gaya. Untuk menentukan gaya semua elemen, sebaiknya dimulai dengan menentukan gaya-gaya luar struktur yang dianggap sebagai benda kaku tunggal. Kemudian setiap elemen dilepas dan dihitung semua gaya yang

bekerja padanya dengan persamaan keseimbangan gaya dan momen. Pada mesin hal tersebut tidak selalu bisa dilakukan, terutama apabila keseluruhan struktur mesin tersebut tidak kokoh (misalnya, mekanisme *slider crank*). Untuk itu analisa dimulai dari keseimbangan elemen yang dianggap *rigid*.

2.2 Macam – Macam Tumpuan dan Sifatnya

Tumpuan ialah suatu benda yang merupakan bagian dari suatu bangunan yang berfungsi sebagai sarana penahan atau penyangga dari bangunan agar bangunan tidak roboh bila dibebani, pembebanan dapat berupa beban akibat berat itu sendiri, atau akibat dari luar. Pada dasarnya tumpuan dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Tumpuan yang arah gaya reaksinya diketahui, tetapi besarnya tidak diketahui, tumpuan ini sifatnya hanya bisa menahan gerak translasi benda yang ditumpunya dalam segala arah sumbu benda. Misal pada : tumpuan *roller*, *rocker*, kontak antara permukaan yang licin, pegas, kabel, gerak pin pada alur yang licin, sambungan bola dan soket.
2. Tumpuan yang arah dan besar reaksi tidak diketahui, tumpuan ini sifatnya dapat menahan gerak translasi benda yang ditumpunya dalam segala arah, tetapi tidak dapat menahan gerak rotasi benda dalam arah sumbu-sumbu yang tertentu dari benda yang ditumpunya. Misalnya : tumpuan engsel yang licin, sendi, bantalan luncur, *roller bearing* dan *thrust bearing*. Perkecualian yaitu pada tumpuan kontak antar permukaan yang kasar, tumpuan ini bisa menahan gerak translasi sampai batas gaya gesek reaksinya tidak dilampaui, tetapi sama sekali tidak bisa menahan gaya rotasi dalam segala arah.
3. Tumpuan yang arah, besar gaya reaksinya tidak diketahui, serta dapat menahan momen atau kopel dalam segala arah. Tumpuan ini sifatnya kokoh sempurna, artinya dapat menahan gaya translasi dan rotasi dalam segala arah dari benda yang ditumpunya. Misalnya : tumpuan jepit (*fixed*), lasan, hubungan dua benda yang

disambung dengan baut atau keling dengan elemen penyambungannya dua atau lebih, hubungan satu benda yang kontinu, hubungan dua benda yang dilem.

2.3 Pengertian *Dump Truck*

Dump Truck adalah sebuah truk digunakan untuk mengangkut material lepas (seperti pasir, kerikil, atau kotoran) untuk konstruksi. Sebuah *dump truck* dilengkapi dengan hidrolik tidur terbuka-kotak dioperasikan berengsel di bagian belakang dan depan yang dapat diangkat untuk memungkinkan isi yang akan disimpan di tanah di belakang truk di tempat pengiriman. *Dump Truck* merupakan alat berat yang berfungsi untuk mengangkut/memindahkan material pada jarak menengah sampai jarak jauh (misalnya lebih dari 500 m). *Dump Truck* biasa digunakan untuk mengangkut material alam seperti tanah, pasir, batu split, dan juga material olahan seperti beton kering / CTB pada proyek konstruksi, termasuk hasil perkebunan seperti kelapa sawit.

Umumnya material dimuat ke *dump truck* oleh alat pemuat seperti *excavator backhoe* atau *loader*. Untuk membongkar muatan material bak *dump truck* dapat terbuka dengan bantuan sistem hidrolik.

Secara umum terdapat tiga macam jenis *dump truck*, yaitu :

1. ***Rear Dump Truck*** - pembongkaran muatan material dengan cara dibuang ke belakang.



Gambar 2.3 *Rear Dump Truck*

2. ***Side Dump Truck*** - pembongkaran muatan material dengan cara dibuang ke samping.



Gambar 2.4 *Side Dump Truck*

3. ***Bottom Dump Truck*** - untuk membongkar muatan terdapat bagian yang terbuka di tengah bawah.



Gambar 2.5 *Bottom Dump Truck*

Untuk memilih kapasitas *dump truck* tergantung dari volume dan jenis material yang dimuat. Sedangkan untuk menentukan jumlah *dump truck* yang dibutuhkan tergantung dari volume pekerjaan dan kapasitas alat gali/alat muat contohnya kapasitas *loader*. Biasanya untuk 1 alat gali/alat muat ada 4 sampai 5 *dump truck*.

Keuntungan dan kerugian penggunaan truk kecil dibandingkan dengan truk besar antara lain keuntungannya, lebih cepat, lebih leluasa, dan produktivitas tidak terlalu berkurang jika ada salah satu alat yang rusak. Sedangkan kerugiannya antara lain, kesulitan dalam pemuatan material karena ukuran bak yang kecil, waktu antri yang tinggi, biaya operator yang lebih besar, dan biaya investasi alat yang besar karena jumlah truk lebih banyak.

Produktivitas *dump truck* tergantung dari waktu pemuatan, waktu pengangkutan, waktu pembongkaran muatan, waktu perjalanan kembali dan waktu antri. Waktu pemuatan, tergantung pada : ukuran dan jenis alat pemuat, jenis dan kondisi material yang dimuat, kapasitas alat angkut, kemampuan operator alat muat dan alat angkut

Waktu berangkat dan kembali atau pengangkutan tergantung pada jarak tempuh alat angkut, kondisi jalan yang dilalui, waktu pembongkaran muatan tergantung pada jenis dan kondisi material, cara pembongkaran material, jenis alat pengangkutan.

Dump truck adalah sebuah truk yang mempunyai bak material yang dapat dimiringkan sehingga untuk menurunkan material hanya dengan memiringkan bak materialnya sehingga muatannya akan dapat meluncur ke bawah. Untuk memiringkan bak digerakkan oleh pompa hidrolis. Sebagai alat pengangkut, *dump truck* banyak kegunaannya antara lain untuk mengangkat tanah, pasir, batu kerikil, sampah dan yang lainnya dalam hal ini tidak terlalu memerlukan kehati-hatian dalam pengangkatan maupun penurunan sehingga jika terjadi benturan atau gesekan material tidak menjadi masalah (muatan curah / *balles load*).

Bila digunakan untuk mengangkat unit atau kemasan seperti baja profil, batangan kayu, peti kemas, dan lain sebagainya (muatan unit) diperlukan kehati-hatian dalam pengangkatan dan penurunannya.

Truck adalah kendaraan khusus alat angkut karena kemampuan untuk bergerak cepat, kapasitas besar dan biaya operasional relatif murah. Jenis *truck* ada yang beroperasi di jalan umum dengan tanjakan tidak terlalu besar (*on road*) dan ada yang tidak dapat beroperasi di jalan umum (*off road*) yang disebabkan oleh besarnya kapasitas angkut. Jenis daripada *truck off road* hanya digunakan pada proyek besar atau daerah lokasi tertentu saja.

2.3.1 Klasifikasi *Dump Truck*

Untuk klasifikasi *dump truck* dapat dibedakan menurut :

- a. Ukuran dan jenis bahan bakar
- b. Jumlah kecepatan (*versenelling*)
- c. Metode penurunan muatan (belakang/samping)
- d. Jumlah roda dengan gandar serta susunan roda gerak
- e. Jenis muatan yang diangkut (pasir, tanah, batu dan sebagainya)
- f. Kapasitas muatan (dalam ton atau m³)

2.3.2 Pemilihan Ukuran *Dump Truck*

Pada prinsipnya, dalam pemilihan ukuran *Dump Truck* harus sesuai dengan alat pemuat yang akan digunakan untuk menghindari terjadinya alat-alat lain tidak bekerja.

Faktor – faktor yang menentukan dalam pemilihan *Dump Truck* adalah :

- a. Biaya pemilikan dan pengoperasiannya
- b. Kondisi medan/jalan
- c. Waktu pengoperasian : pemuatan (*loading*), waktu angkut (*handling time*), pengosongan (*dumping*), dan waktu kembalian (*returning*)
- d. Kapasitas alat-alat pemuat (*excavator, loader* atau tenaga manusia)
- e. Biasanya untuk kapasitas angkut 5-15 ton (*on road*) dan yang mencapai 235 ton (*off road*)

2.3.3 Prinsip Kerja *Dump Truck*

Prinsip kerja dump truck dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Gerakan *Travelling* atau Gerakan Jalan

Gerakan *Travelling* atau gerakan jalan di sini yang dimaksud adalah gerakan dari *Dump Truck* untuk berjalan mengangkat muatan dari suatu tempat menuju ke tempat lain untuk memindahkan muatan atau menumpahkan muatan tersebut.

Gerakan berjalan dari *Dump Truck* tersebut dimulai dari suatu sumber tenaga yang dinamakan mesin penggerak yang mana dari mesin penggerak tersebut memutar poros penggerak, dari poros ini melalui kopling dan menggerakkan transmisi roda

gigi yang diatur oleh *handle* gigi. Transmisi ini memutar roda-roda *Dump Truck* untuk berjalan memindahkan muatan dari suatu tempat menuju tempat lain yang dikehendaki melalui poros *propeller* dan gigi differensial.

2. Gerakan *Dumping* atau Menumpahkan Muatan

Gerakan *dumping* atau menumpahkan muatan dengan memiringkan bak muatan dengan kemiringan tertentu maka muatan akan meluncur ke bawah. Untuk memiringkan muatan tersebut digunakan sistem hidrolik dimana daya yang didapatkan dari mesin penggerak diteruskan ke mekanisme roda gila/*flywheel* untuk menggerakkan pompa hidrolik. Pompa hidrolik ini akan mendorong atau mengalirkan fluida menuju ke katup pengontrol dimana dalam katup pengontrol aliran fluida ini akan diatur tekanan minyak oli yang masuk ke dalam silinder hidrolik. Tekanan minyak yang telah diatur oleh katup pengontrol akan mendorong silinder hidrolik untuk menumpahkan muatan yang ada di dalam bak material.

2.3.4 Bagian – bagian Utama *Dump Truck*

Bagian – bagian Utama *Dump Truck* terdiri atas :

1. *Chasis*

Chasis adalah salah satu hal penting dalam mobil, karena pada rangka ini dipasang hampir seluruh bagian mesin yang penting. Bagian – bagian yang penting itu antara lain *frame*, *suspense*, mesin, radiator, dan lain – lain.

2. Kabin

Kabin adalah tempat / ruangan untuk mengemudi, dimana di dalam kabin terdapat setir, *handle* rem, *handle* gas, *handle* kopling serta *handle* gigi, dan lain-lain.

3. Bodi

Bodi adalah bagian badan mobil untuk bak muatan beserta isi muatan

4. *Power Train*

Power train adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga / daya mesin. Sistem tersebut terdiri dari *engine*, *clutch*, *transmisi*, poros *propeller*, *differensial gear*, *axle* dan roda.

2.4 **Pengertian Desain**

Desain merupakan perencanaan dalam pembuatan sebuah objek, sistem, komponen atau struktur. Kemudian, kata “desain” dapat digunakan sebagai kata benda maupun kata kerja. Dalam artian yang lebih luas, desain merupakan seni terapan dan rekayasa yang berintegrasi dengan teknologi. Desain dikenakan pada bentuk sebuah rencana, dalam hal ini dapat berupa proposal, gambar, model, maupun deskripsi. Jadi dapat dikatakan, desain merupakan sebuah konsep tentang sesuatu.

Desain lahir dari penerjemahan kepentingan, keperluan, data maupun jawaban atas sebuah masalah dengan metode-metode yang dianggap komprehensif, baik itu riset, *brainstorming*, pemikiran maupun memodifikasi desain yang sudah ada sebelumnya.

Seorang perancang atau orang yang mendesain sesuatu disebut desainer, namun desainer lebih lekat kaitannya dengan profesional yang bekerja di lingkup desain yang bekerja untuk merancang sesuatu yang menggabungkan atau bereksplorasi dalam hal estetika dan teknologi.

Desainer menjadi kata depan untuk menspesifikasi bentuk pekerjaan apa yang secara profesional digarapnya, seperti desainer *fashion*, desainer komunikasi visual, desainer interior, desainer grafis, dan sebagainya. lebih spesifik desain merupakan sebuah aktifitas yang bertujuan untuk membangun kualitas multi elemen dalam sebuah objek, proses, layanan dan sistem mereka dalam siklus hidup produk tersebut. Oleh karena itu, desain merupakan faktor utama inovasi manusia dalam teknologi dalam prosesnya berintegrasi dengan budaya, sosial dan ekonomi.

Mendesain merupakan sebuah pola perancangan yang melalui berbagai proses dan pertimbangan estetika, fungsi, masalah, survei dan banyak aspek lain, sehingga seorang yang memilih berprofesi sebagai desainer membutuhkan keahlian, penelitian, pemikiran, model dan pengalaman tertentu dalam orientasinya menghasilkan *output* sebuah karya desain.

Sehubungan dengan definisi tersebut untuk menemukan nilai struktural, organisasi, fungsi dan ekspresi dengan bidang lain, desain mengemban tugas besar dalam meningkatkan kelestarian global dalam hal lingkungan dan pengolahannya, desain juga dituntut mampu memberikan manfaat dan kebebasan kepada seluruh komunitas manusia baik secara individu, maupun kolektif, desain memiliki implikasi yang cukup luas dalam pembentukan pola berpikir pasar karna desain menjadi salah satu pendukung keanekaragaman budaya dari berbagai belahan dunia, sehingga desain harus hadir dengan form yang mapan saat lahir sebagai sebuah produk baik dalam teori, visual maupun objek dan koheren dengan kompleksitas yang muncul ditengah-tengah masyarakat. Desain saat ini melibatkan spektrum yang luas dimana berbagai profesi, produk, layanan, grafis, interior, arsitektural dalam berbagai aspek kehidupan. Dengan demikian, desainer muncul sebagai individu maupun komunitas yang bertanggung jawab dalam perkembangan dunia yang multi-dimensional.

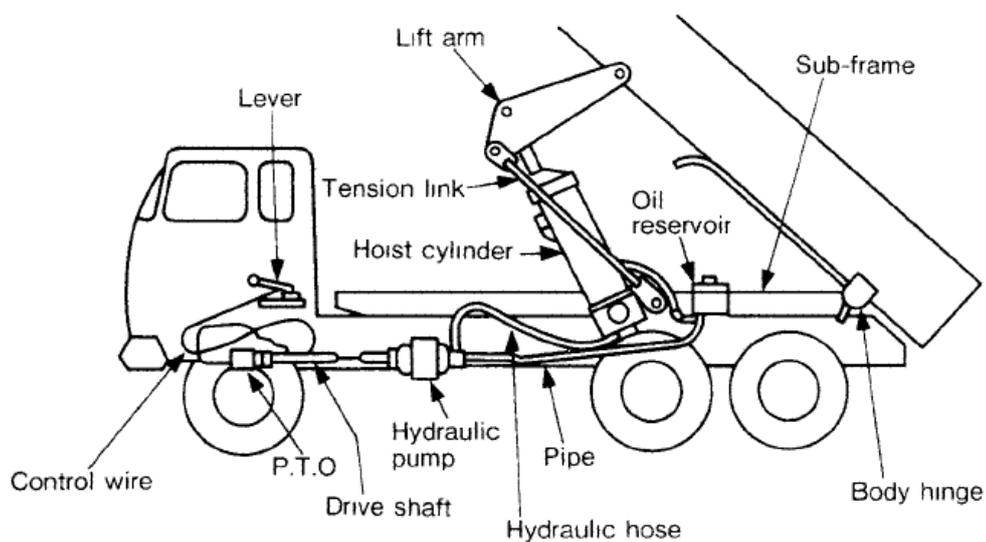
Dengan definisi desain yang cukup luas, desain memiliki segudang spesifikasi yang profesional di bidangnya masing-masing, dan belum ada satu institusi yang dapat mengumpulkan semua manifesto desain tersebut secara keseluruhan, meski demikian bukan berarti kita tidak menemukan sekolah-sekolah yang memprakarsai lahirnya desainer-desainer.

2.5 Pengertian Hidrolik

Hidrolik berasal dari bahasa Inggris *hydraulic* yang berarti cairan atau minyak. Prinsip dari peralatan hidrolik memanfaatkan konsep tekanan, yaitu tekanan yang

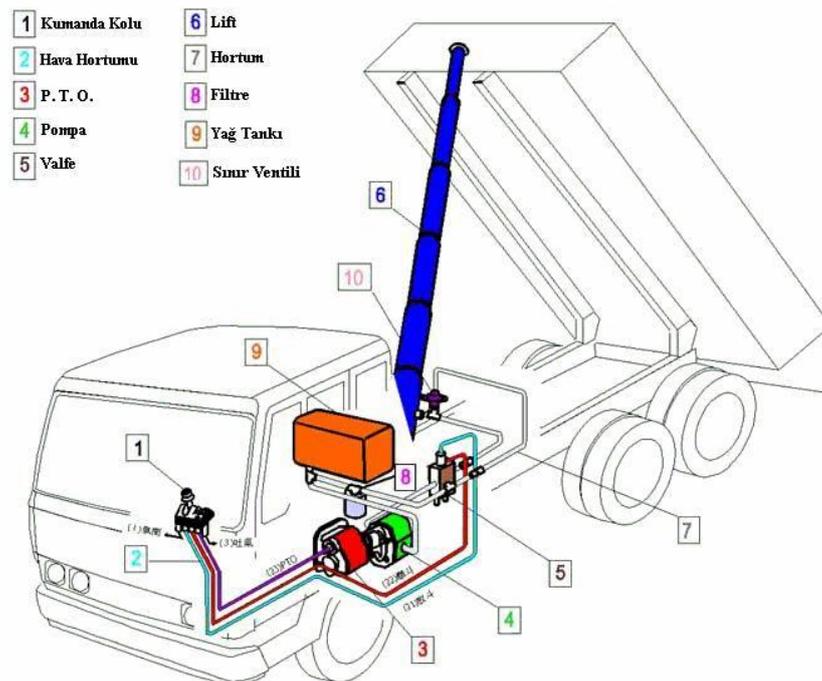
diberikan pada salah satu silinder akan diteruskan ke silinder yang lain, sesuai dengan hukum Pascal.

Peralatan hidrolik untuk memperbaiki bodi kendaraan memiliki ukuran yang sangat bervariasi, dari peralatan yang hanya memiliki kekuatan sekitar 1 ton, sampai dengan 50 ton. Jenis yang digunakan disesuaikan dengan kerusakan yang terjadi. Jenisnya juga beragam dan beberapa alat dapat saling dikombinasikan.



Gambar 2.6 Komponen sistem hidrolik pada *Dump Truck*

Sistem Hidrolik adalah teknologi yang memanfaatkan zat cair, biasanya oli, untuk melakukan suatu gerakan segaris atau putaran. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip Jika suatu zat cair dikenakan tekanan, maka tekanan itu akan merambat ke segala arah dengan tidak bertambah atau berkurang kekuatannya Sistem Hidrolik adalah teknologi yang memanfaatkan zat cair, biasanya oli, untuk melakukan suatu gerakan segaris atau putaran. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip Jika suatu zat cair dikenakan tekanan, maka tekanan itu akan merambat ke segala arah dengan tidak bertambah atau berkurang kekuatannya Hukum Archimedes (+250 sebelum Masehi)



Gambar 2.7 Hidrolik sistem

Dalam penggunaan berbagai peralatan hidrolik, biasanya kita sering menggunakan oli sebagai perantara untuk menyalurkan tekanan. Jadi, perbaikan bodi kendaraan memanfaatkan oli untuk membantu pekerjaan kita. Konsep dari hidrolik banyak digunakan pada pemakaian sistem rem kendaraan, dongkrak kendaraan, alat pengangkat mobil ketika dicuci, juga pada berbagai alat berat seperti *back hoe*, *excavator*, *dump truck*, alat pengangkat mobil (*car lift*), dongkrak rantai, ram atau dongkrak tenaga serta alat-alat penarik dan penekan dan lain sebagainya.

2.6 *Finite Element Method*

Finite element method (metode elemen hingga) atau FEM adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia engineering (sipil, mesin, penerbangan, mikroelektronik, bioengineering, material) dan diajarkan di dunia (baik akademika maupun industri). Usianya lebih dari 40 tahun, dan hingga kini masih tetap dipergunakan. Metode ini berusaha memecahkan partial *differential equations* dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda kontinu. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup ampuh memecahkan struktur-

struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*). Biasanya matematikawan mencari *closed-form solution* untuk suatu kasus fisika, dan karena tidak menemukan solusinya, lalu mereka memanfaatkan metode numerik ini untuk memecahkan kasusnya.

Saat ini, terdapat *software* FEM yang dipergunakan dengan berbagai mutu dan kemudahan. Contoh dari *software* ini adalah MSC.NASTRAN, ABAQUS, ANSYS, LSDYNA, dan lainnya. Pengguna *software* FEM kemudian terbiasa melihat GUI (*graphic user interface*) dimana suatu benda didiskritisasi menjadi puluhan bahkan mencapai jutaan elemen. Istilah baru kemudian muncul yaitu *Finite Element Modeling*, karena pengguna hanya memodelkan fisik suatu benda dengan elemen-elemen kecil, mendefinisikan sifat-sifat material, memberikan kondisi batas dan pembebanan, menjalankan *software*. Ini yg dinamakan *pre-processing*. *Fase post-processing* biasanya lebih sulit karena pengguna diharapkan bisa menginterpretasi hasil, menganalisis angka dan fisik yang dihasilkan dan melakukan *trouble-shooting* jika hasilnya kurang memuaskan. FEM *software* ini disebut juga G-I-G-O alias *garbage-in-garbage-out*, apapun data yang dimasukkan maka akan diolah dalam sebuah analisis. Jika data yang dimasukkan benar, maka hasil analisisnya pun benar, tetapi jika data yang dimasukkan salah, maka hasil analisisnya akan salah. Untuk mengatasi ini, pengguna diharapkan sudah memahami formulasi, jenis elemen, kelebihan dan kelemahan suatu metode sebelum menggunakan FEM *software*.

Metode Elemen Hingga dibangun sebagai metode numerik untuk analisa tegangan, tapi sekarang pemakaiannya telah meluas sebagai metode yang umum untuk banyak permasalahan engineering kompleks dan ilmu-ilmu fisika. Mengandung banyak perhitungan, pertumbuhannya berhubungan dekat dengan pengembangan teknologi komputer.

Elemen Hingga adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material, dll) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum).

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*, FEM) adalah suatu metode numerik dengan tujuan memperoleh pemecahan pendekatan dari suatu persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*, PDE). Meskipun cikal bakal teori FEM sudah ada sejak tahun 1940-an, baru pada tahun 1970-an metode ini dirumuskan secara formal. Pada awalnya metode ini digunakan di bidang teknik penerbangan untuk perhitungan kekuatan bangun-raga (*structure*) pesawat pada industri pesawat terbang. Tetapi dewasa ini FEM telah diterapkan dalam berbagai persoalan teknik: seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, akustik, maupun elektromagnetik.

Finite Element Method (FEM) atau Metode Elemen Hingga dewasa ini telah menjadi bagian tak terpisahkan dari solusi numerik di dunia teknik rekayasa. FEM diaplikasikan secara luas mulai dari analisa stress (tegangan) dan deformasi (perubahan bentuk) pada bidang struktur bangunan, jembatan, penerbangan, dan

otomotif, sampai pada analisa aliran fluida, perpindahan panas, medan magnet, dan masalah non-struktur lainnya.

Kemajuan yang sangat pesat di bidang komputer baik piranti lunak maupun hardware dalam dua dekade terakhir telah menyebabkan FEM diterapkan secara massif pada level yang belum pernah dibayangkan sebelumnya. Dengan kecanggihan piranti lunak-keras komputer sekarang, masalah rekayasa yang rumit dapat dimodelkan dengan relatif mudah. Waktu yang diperlukan untuk memecahkan problem pun semakin singkat. Sebagai ilustrasi, simulasi tabrakan mobil dua puluh tahun lalu memerlukan waktu berminggu-minggu dengan menggunakan superkomputer. Tetapi pada hari ini simulasi serupa hanya memerlukan waktu belasan jam dengan menggunakan personal komputer secara garis besar ada dua pendekatan metode numerik yaitu *finite element method* (FEM) dan *boundary element* (BEM). Masing-masing berbeda pendekatannya dimana pada FEM, *governing equation* harus memenuhi prasyarat *boundary* terlebih dahulu sementara pada BEM harus memenuhi prasyarat domain. Bila membandingkan kedua metode ini secara *apple to apple*, dari segi komputasi metode FEM tidak efisien dibandingkan metode BEM karena untuk mengetahui potensial (nilai pada suatu titik) kita melakukan komputasi terhadap seluruh domain yang di *descritize* dimana umumnya kita hanya ingin mengetahui nilai *boundary*-nya saja dan bukan nilai domainnya. Sementara dari segi kemudahan *approaching governing equation*, metode FEM lebih mudah karena hanya menggunakan *polynomial function* sementara pada BEM kita bergerak menggunakan *fundamental function* dengan derajat singulariti yang tinggi seperti *Green function* atau *Henkel function*.

Selain *finite element*, metode lain yang merupakan metode numerik adalah *finite different*. *Finite different* adalah metode yang menggunakan *derivatif* dari suatu formula untuk menyelesaikan suatu persoalan. *Derivatif* dihitung menggunakan nilai

yang sangat kecil namun *finite* atau terhingga. Seperti yang telah diketahui bahwa setiap formula differensial orde satu mengandung sebuah konstanta integral. Oleh karena itu dalam perhitungannya dibutuhkan suatu kondisi batasan yang akan memenuhi nilai konstanta integral tersebut. Sebagai contoh adalah bila ada exact solution, $f(x) = 1 - x^2/2$, dan finite different didapat dengan $\Delta x = 0.1$. Hasil penyelesaian *finite different* ditunjukkan hanya pada titik diskrit, sedangkan variasi secara umum dari hasil perhitungan tiap titik tidak dapat diketahui dengan metode *finite different* tetapi dapat dilihat dengan cara interpolasi.

Finite element dengan *finite different* adalah berbeda. Pada metode *finite element* variasi dari *field variable* dalam domain fisik merupakan sebuah bagian utuh dari prosedur. Maksudnya adalah berdasarkan fungsi interpolasi yang dipilih, *field variable* diseluruh bagian sebuah elemen hingga dispesifikasikan sebagai sebuah bagian utuh dari prosedur. Pada metode *finite different*, *field variable* dihitung hanya pada titik tertentu. Namun *finite different* dapat digunakan untuk menyediakan data *variable* dan selanjutnya dapat dilakukan dengan metode *finite element*. Contohnya pada permasalahan struktur, kedua metode dapat menyediakan penyelesaian displacement (perpindahan), namun penyelesaian *finite element* dapat digunakan secara langsung untuk menghitung *strain*, turunan pertama. Sedangkan penyelesaian *finite different* membutuhkan pertimbangan tambahan. Berdasarkan uraian tersebut di atas, dan dilihat dari faktor efisiensi proses, maka dalam penelitian kali ini, dibantu dengan menggunakan perangkat lunak MSC Pastran dan Nastran 2012.2.

2.6.1 Pengertian Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam *pound* atau *newton*, dan luas yang menahan dalam inch^2 atau mm^2 . Akibatnya tegangan biasanya

dinyatakan dalam pound/inch² yang sering disingkat psi atau Newton/mm² (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja.

Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian, yaitu :

1. Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
2. Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total.

Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar ΔL mm. Saat itu pada material bekerja tegangan yang dapat dihitung dengan rumus (*engineering stress*) :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Keterangan :

σ = tegangan (*pascal*, N/m²)

F = beban yang diberikan (*newton, dyne*)

A_0 = luas penampang mula - mula (mm²)

Sedangkan *true stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (*actual*). *True stress* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = A \cdot F$$

dengan:

σ = True stress (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm²)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

2.6.2 Regangan (*Strain*)

Regangan didefinisikan sebagai perubahan panjang material dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batasan fase sifat plastis. Regangan dibedakan menjadi dua, yaitu: *engineering strain* dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal), sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$e_{\text{eng}} = \frac{L}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

dengan :

e_{eng} = Engineering strain

ΔL = Perubahan panjang

L_0 = Panjang mula-mula

L = Panjang setelah diberi gaya

True strain dapat dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda.

2.6.3 Elastisitas dan Plastisitas

Jika sebuah material diberi beban dan mengalami regangan tetapi bila beban dihilangkan material tersebut kembali ke bentuk semula maka hal ini dikatakan elastis. Elastisitas ini berada di daerah elastis, sebelum titik luluh (*yield point*). Selama material masih berada di daerah elastis, jika beban dihilangkan maka material akan kembali ke bentuk semula. Bila suatu material mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu (batas elastis) maka akan terjadi perubahan bentuk yang bersifat sementara.

Perubahan bentuk akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan. Tetapi, bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas tersebut maka sebagian dari perubahan bentuk itu tetap ada walaupun tegangan dihilangkan. Sedangkan plastisitas adalah perubahan bentuk yang permanent tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sering disebut keuletan (*ductile*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis adalah bahan yang mempunyai keuletan tinggi dan sebaliknya bahan yang tidak mengalami deformasi plastis berarti mempunyai keuletan rendah atau getas.

2.6.4 Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah.

Pada awal pembebanan akan terjadi *deformasi* elastis sampai pada kondisi tertentu, sehingga material akan mengalami *deformasi* plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh, material akan kembali ke bentuk semula. Hal ini dikarenakan adanya sifat elastis pada bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula.

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh *modulus elastisitas*. *Modulus elastisitas* suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan.

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

dengan

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan (MPa)

e = Regangan

2.6.5 Batas Luluh (*Yield Point*)

Jika beban yang bekerja pada material diteruskan hingga di luar batas elastis akan terjadi perpanjangan atau perpendekan permanen secara tiba-tiba. Ini disebut *yield point* atau batas luluh dimana regangan meningkat sekalipun tiada peningkatan tegangan (hanya terjadi pada baja lunak). Setelah melewati titik ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula, atau material sedang berada dalam daerah plastis.

2.6.6 Kriteria *Von Mises*

Von mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan J_2 melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk.

$$J_2 = k^2$$

Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh *von Mises* dapat juga diformulasikan dalam *von Mises stress* atau *equivalent tensile stress*, σ_v , nilai tegangan scalar dapat dihitung dari tensor tegangan. Dalam kasus ini, material dikatakan mulai luluh ketika tegangan *von Mises* mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength*. Tegangan *von Mises* digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial.

2.7 *Safety Factor*

Faktor Keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang digunakan untuk melakukan evaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum

- Faktor Keamanan / *Safety Factor* (sf) berdasarkan tegangan luluh adalah
- $sf = 1,25 - 1,5$: kondisi terkontrol dan tegangan yang bekerja dapat ditentukan dengan pasti
- $sf = 1,5 - 2,0$: bahan yang sudah diketahui, kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah.
- $sf = 2,0 - 2,5$: bahan yang beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban yang diketahui.
- $sf = 2,5 - 3,0$: bahan yang diketahui tanpa mengalami tes. Pada kondisi beban dan tegangan rata-rata.
- $sf = 3,0 - 4,5$: bahan yang sudah diketahui. Kondisi beban, tegangan dan lingkungan yang tidak pasti.