

**PERANCANGAN ALAT PENGANGKUT GALON KE
DISPENSER DENGAN PENDEKATAN METODE
AXIOMATIC DESIGN**

Skripsi

Sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD SYUKRAN GHUFRANI
I 1304024**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan galon air mineral sebagai wadah air minum saat ini adalah hal yang biasa dalam kehidupan kita sehari-hari. Hampir semua rumah tangga menggunakan benda yang akrab disebut dengan “galon“ saja. Akan tetapi sayangnya, proses pemindahannya boleh dikatakan tidak sepraktis fungsinya. Proses pemindahan (memindahkannya ke dispenser atau alat sejenis) galon ini tidak dapat dilakukan semua orang. Dengan volume galon sekitar 19 liter (karena massa jenis air pada suhu 4⁰C adalah 1 kg/liter) maka bobot galon bisa setara dengan 19 Kg.

Mengangkat benda seberat ini biasanya dilakukan oleh orang dewasa (terutama laki-laki), dan akan sangat beresiko jika harus dilakukan oleh wanita terlebih lagi orang tua. Bahkan dapat menjadi kegiatan yang fatal dan beresiko, karena besarnya gaya pada postur kerja yang keliru dapat menimbulkan cedera pada punggung dan persendian yang lain. Oleh karena itu, harus dicari cara bagaimana menjalankan fungsi tersebut, akan tetapi dengan gaya yang kecil sehingga mengurangi bahkan menghindari resiko cedera.

Dalam proses pemindahan galon ke dispenser secara manual, ada dua gerakan utama yang dilakukan. Pertama yaitu gerakan mengangkat galon dari posisi dasarnya, kemudian gerakan kedua memutar galon sehingga leher galon yang tadinya berada di atas dibalik menjadi posisi bawah untuk memasukkannya ke dispenser. Proses gerak tersebut menjadi objek utama perancangan, yaitu mencari cara bagaimana fungsi gerakan tadi dapat dilakukan dengan alat secara mekanis dan dengan gaya yang kecil.

Berdasarkan gambaran permasalahan diatas, alat yang akan penulis rancang nantinya diarahkan kepada perancangan yang memenuhi fungsi utama mengangkat dan menempatkan galon pada dispenser. Konsep perancangan yang penulis gunakan adalah *axiomatic design*, yang memandu proses perancangan

suatu produk berdasarkan pemenuhan fungsi dan juga menjaga dua prinsip aksioma. Yaitu kebebasan fungsi dan minimasi konten informasi.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah bagaimana menemukan fungsi rancangan yang ingin dicapai dan menemukan cara untuk memenuhi fungsi tersebut dalam konsep *Axiomatic design*.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan rancangan yang memenuhi fungsi sebagai alat bantu pengangkat galon ke dispenser.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai penelitian ini adalah mendapatkan rancangan alat yang berfungsi baik berdasarkan konsep *axiomatic design*.

I.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Karena adanya variasi produk dispenser, maka spesifikasi teknis dispenser hanya dibatasi pada berat, dan ukuran geometrik lebar dan tinggi

I.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini merupakan dokumentasi pelaksanaan dan hasil penelitian. Adapun sistematika laporan tugas akhir sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Uraian bab ini dimaksudkan untuk menjelaskan

latar belakang penelitian yang dilakukan sehingga dapat memberikan manfaat sesuai dengan tujuan penelitian dengan batasan-batasan dan asumsi yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang uraian teori, landasan konseptual dan informasi yang diambil dari literatur yang ada. Sesuai dengan yang dibutuhkan selama proses desain.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan uraian-uraian tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisikan uraian mengenai data-data penelitian yang digunakan dalam proses pengolahan data dan hasil pengolahan yang digunakan sebagai rekomendasi.

BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini berisi tentang analisis dan interpretasi hasil terhadap pengumpulan dan pengolahan data.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan kesimpulan yang diperoleh dari pengolahan data sebelumnya sebagai penutup laporan penelitian.

]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Desain dan Pengertiannya

Desain secara harfiah sering diartikan sebagai merancang, merencana, merancang bangun, atau merencanakan. Dalam bahasa Inggris (asal bahasa Indonesia menyerap istilah desain) ditulis dengan “ *to design* ”.

Gregory: mendefinisikan sebagai “ *relating product with situation to give satisfaction* “, yang lebih mengutamakan hubungan antar benda (barang) dengan suatu keadaan atau kondisi tertentu; dengan tujuan memberikan suatu kepuasan bagi pengguna barang (benda, produk) tersebut.

Fielden: “ *engineering design is the use scientific principles, technical information and imagination in the definition of mechanical structure, machine or system to perform function with maximum economy and efficiency.* (Tahid dan Nurcahyati, 2007).

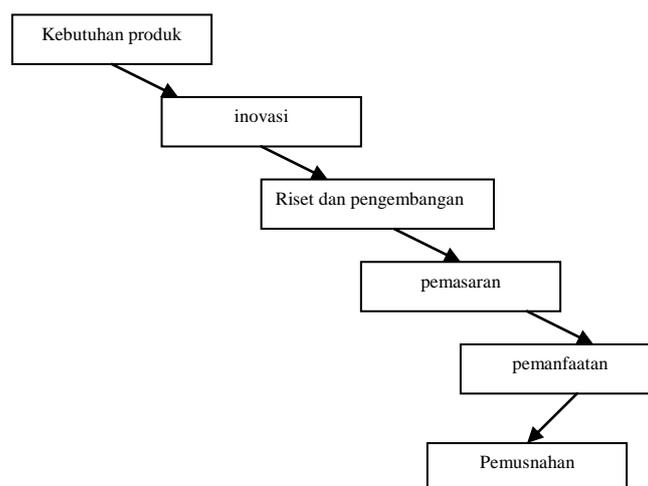
Jika ditinjau pernyataan Fielden ini lebih bersifat sempit, spesifik, dan kaku, karena hanya mengaitkan pengertian desain dengan dunia teknik (*engineering*) dalam kaitannya dengan segi ekonomis dan efisiensi. Sedangkan kenyataannya, desain juga erat kaitannya dengan berbagai disiplin ilmu pengetahuan yang mendukung proses desain yang lain. Meskipun demikian, memang dapat dikatakan bahwa peran *engineering* terasa semakin penting dalam suatu proses desain. Hal ini semakin terasa pada masa sekarang (setelah terjadinya revolusi industri di Eropa dan Amerika), yakni penghujung abad ke-18, menjelang abad ke-19, dan terus berlangsung sampai saat ini.

Perubahan pengertian desain juga dapat ditemukan pada pernyataan Anthony Bertram, dalam bukunya yang berjudul *Design*, yaitu sebagai berikut : “ *By 1588 the word ‘ design ’ has meaning ‘ purpose, aim, intention : by 1657 the meaning ‘ the thing aimed at ’. In 1938 it has gained the composite meaning of aim plus thing aimed at. It has come to for a thought the plan and manufacture to the finished object.*” (Tahid dan Nurcahyati, 2007).

2.1.1 Siklus Kehidupan Produk dan Jalur Perancangannya

Produk adalah sebuah benda teknik yang keberadaannya di dunia merupakan hasil karya keteknikan, yaitu hasil rancangan , pembuatan teknik, dan hal-hal terkait lainnya (Harsokusumo, 2000). Produk tidak ditemukan secara alamiah di muka bumi ini. Produk dibuat untuk dapat menjalankan fungsinya, yaitu memberikan kemudahan dan atau menggantikan tugas manusia.

Gambar 2.1 merupakan gambaran evolusi sebuah desain. Desain dimulai keberadaannya ketika ada kebutuhan akan suatu produk. Pada tahap ini, semua konsep yang dibutuhkan dari fungsi yang akan dicapai, atribut keinginan konsumen, dan semua atribut yang berkaitan dengan produk dipetakan dan menjadi pertimbangan desain produk. Inovasi diperlukan ketika produk yang akan dibuat, merupakan sesuatu yang baru dari segi desain, sistem, dan fungsinya. Oleh karena ada tujuan fungsi dan sistem yang baru itulah, kemudian dilakukan riset atau penelitian mengenai performansinya, *reliability*-nya, kemampuan produksinya, dan lain-lain. Selanjutnya produk memasuki tahap pemasaran. Pemanfaatan produk bisa mencapai waktu yang lama atau singkat. Tergantung adanya kompetisi produk yang sama dari pihak lain, teknologi baru yang dikembangkan, atau memudarnya tren. Ketika ia ditinggalkan pemakaiannya oleh konsumen, maka ia memasuki tahap pemusnahan.



Gambar 2.1 Siklus Alami Produk

Sumber : Harsokusumo, 2000

2.1.2 Memunculkan konsep (*Concept Generation*)

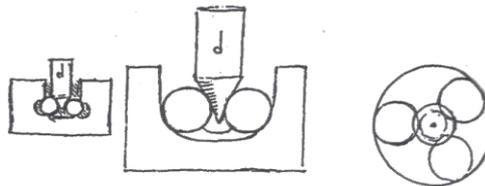
Menurut Ullmann (1997) *a concept is an idea that is sufficiently developed to evaluate the physics principles that govern its behavior* (sebuah konsep adalah ide yang dapat secara mudah dikembangkan untuk mengevaluasi hukum fisika dan hukum alam lainnya yang mengatur perilaku alami suatu benda). Dengan menetapkan fungsi produk yang sesuai sebagaimana mestinya dan dengan pertimbangan pengembangan yang rasional ke depan, ide akan mencapai sasaran kesuksesannya sebagaimana yang diinginkan. Konsep juga harus diperbaiki secukupnya untuk menyesuaikan teknologi yang akan dibutuhkan, untuk menyesuaikan arsitektur dasar (contoh : bentuk) dan untuk mengantisipasi beberapa keterbatasannya, serta untuk mengevaluasi kemampuan produksinya.

Konsep dapat direpresentasikan dalam sketsa kasar atau diagram alir, satu set kalkulasi, atau catatan teks sebuah abstraksi yang barangkali suatu hari dapat menjadi produk. Bagaimanapun, sebuah konsep direpresentasikan sebagai titik kunci yang sangat penting untuk mengembangkan performa model sehingga fungsi dari ide dapat di manifestasikan (Ullmann, 1997).

Sebuah konsep secara natural dimunculkan selama fase kebutuhan pengembangan teknik, selama dalam rangka untuk memahami permasalahan, kita harus menghubungkan ide tersebut dengan benda yang telah kita ketahui sebelumnya. Ada kecenderungan yang besar bagi seorang desainer untuk mendahulukan idenya yang pertama muncul dan menerapkannya pada perbaikan produk dan mengesampingkan ide-ide dari sumber lain atau yang belakangan muncul. Saran yang sering diberikan oleh desainer berpengalaman adalah : *if you generate one idea, it will probably be a poor idea; if you generate twenty ideas, you might have one good idea* (Ullmann, 1997).

Pada kenyataannya, ide-ide bagus dapat kita peroleh dari desain yang pernah dipublikasikan atau ditemukan sebelumnya. Akan tetapi, untuk mengetahui semua konsep-konsep terdahulu terkadang menjadi sesuatu yang sulit. Sebagai contoh pada tahun 1920-an, ketika mendesain sebuah giroskop untuk keperluan sistem pilot otomatis, perusahaan Sperry Gyroscope membutuhkan

sebuah konsep *bearing* yang akan menahan ujung poros giroskop pada posisi kedua poros bujur dan lintang, dan juga berfungsi menyokong giroskop tapi dengan gaya gesek yang kecil. Para desainer Sperry Gyroscope datang dengan ide yang mereka klaim sebagai desain yang pintar, yaitu sebuah poros dengan ujung kerucut yang berada di antara 3 bola gotri dalam sebuah mangkuk. Ide cerdas yang satu ini sudah mencakup semua fungsi desain, yang akhirnya dipatenkan dan meraih sukses. Sampai pada tahun 1965, buku catatan Leonardo da Vinci yang sebelumnya tidak diketahui keberadaannya dan bertahun 1500, ditemukan di Madrid Spanyol. Sketsa-sketsa di dalam buku itu salah satunya sebagaimana terlihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Sketsa Futuristik Leonardo Da Vinci Tentang Bearing

Sumber : Ullman, David G., 1997

Gambar 2.2 diatas menunjukkan desain bearing yang identik sebagaimana yang dibuat oleh insinyur-insinyur Sperry. Tentu saja, para insinyur Sperry tidak mengetahui bahwa ide bearing tersebut telah ada pada abad ke -16. Kenyataannya hal itu meupakan keuntungan bahwa desain itu barangkali dikembangkan berkali-kali antara abad 16 sampai 20 dan tidak tercatat sedemikian rupa. Poinnya adalah segala upaya harus dikerahkan untuk menelusuri ide-ide desain yang telah ditemukan sebelumnya karena boleh jadi inspirasi yang sangat mencerahkan, namun permasalahannya banyak desain di masa lalu tidak terdokumentasi dengan baik.

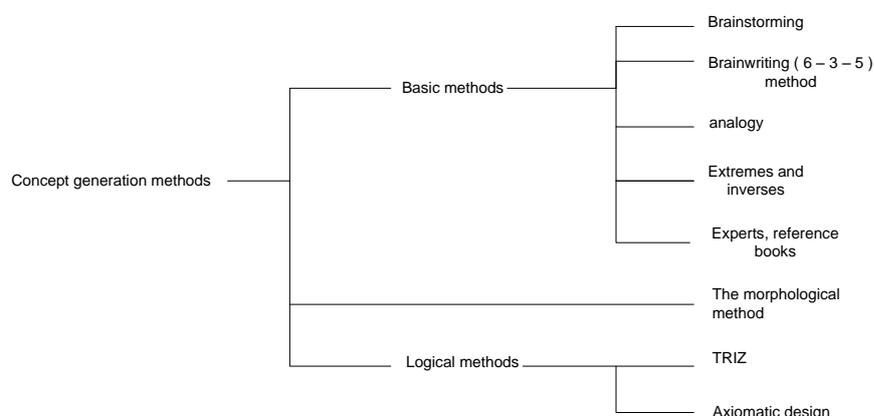
Pemunculan konsep berulang bersamaan dengan adanya iterasi evaluasi. Begitu juga bagian dari lingkaran pengulangan, adalah komunikasi informasi desain, pembaruan rencana, dan dekomposisi permasalahan ke subpermasalahan. Sejalan dengan filosofi dasar yang telah diutarakan tadi (konsep merupakan langkah dasar dan fondasi desain), teknik untuk memunculkan banyak konsep

akan menjadi hal yang penting untuk diketahui. Teknik ini membantu desainer dalam mengumpulkan beragam alternatif solusi.

2.1.3 Beberapa Teknik untuk Memunculkan Konsep

Ketika kita memulai pekerjaan desain dan memperoleh serta menetapkan fungsi yang akan dicapai, tujuan berikutnya adalah memunculkan konsep yang sesuai dengan produk tersebut. *Concept are the means of providing function* (konsep adalah usaha-usaha untuk menyediakan fungsi). Konsep dapat ditampilkan dalam bentuk sketsa, blok diagram, deskripsi teks, model tanah liat atau bentuk yang lain yang dapat memberikan indikasi perilaku produk yang akan dibuat (Ullmann, 1997).

Teknik yang akan diberikan disini menggunakan fungsi-fungsi yang mengidentifikasi ide-ide diatas. Ada dua tahap dalam teknik ini. Tujuan pertamanya adalah mencari sebanyak mungkin konsep yang menyediakan masing-masing fungsi yang diidentifikasi pada tahap dekomposisi. Kedua adalah mengkombinasikan konsep-konsep terpisah itu ke dalam satu konsep yang global yang memenuhi semua fungsi produk yang diinginkan. Pengetahuan (*Know-How*) dan kreatifitas insinyur desain, krusial sekali pada tahap ini, sebagaimana pemunculan ide merupakan dasar evolusi desain. Gambar 2.3 berikut ini menjelaskan beberapa teknik yang populer dalam pengembangan ide dan konsep yang dirangkumkan oleh Ullman :



Gambar 2.3 Metode Pengembangan Konsep
Sumber : Ullman, David G., 1997

2.1.4 Metode Dasar (*Basic Method*)

Metode berikut ini adalah metode yang secara luas dan universal digunakan pada semua kegiatan yang membutuhkan sumbangan ide dalam jumlah banyak. Metode-metode ini disajikan tanpa memerlukan ketentuan khusus dan dapat digunakan bersamaan. Seorang desainer yang berpengalaman boleh saja melompat dari satu metode ke metode yang lain untuk memecahkan masalah yang spesifik.

2.1.5 Brainstorming

Biasanya terdiri dari kelompok yang berorientasi teknis, dan tentu saja teknik ini bisa digunakan oleh seorang insinyur. *Brainstorming* menjadi istimewa karena setiap anggota dari kelompok memberikan kontribusi ide dari sudut pandang mereka masing-masing (Ullmann, 1997). Aturan brainstorming cukup sederhana :

- Catat semua ide yang dihasilkan. Tunjuk salah seorang sebagai sekretaris yang mencatat.
- Munculkan sebanyak mungkin ide dan ungkapkan ide tersebut.
- Jangan perbolehkan evaluasi sebuah ide, hanya munculkan saja. Hal ini sangat penting. Hindarkan koreksi karena hal ini menghambat energi kreatif.

Dalam menggunakan metode ini, biasanya dimulai dengan lontaran ide-ide yang jelas, yang kemudian berangsur melambat. Dalam sebuah kelompok, ide yang muncul dari salah satu anggota akan memicu munculnya ide dari anggota yang lain. Sesi ini dianjurkan paling banyak 3 periode saja agar suasana tetap cair dan nyaman.

2.1.6 Metode 6–3–5

Kekurangan dari *brainstorming* adalah pelaksanaannya bisa didominasi oleh seorang atau beberapa anggota kelompok. Metode 6 – 3 – 5 “ memaksa ” partisipasi yang setara pada semua anggota tim. Untuk melaksanakan metode 6 – 3–5, susun anggota tim mengelilingi meja. Jumlah partisipan optimal adalah 6 diambil dari nama metode. Dalam prakteknya, metode ini bisa dilaksanakan

dengan sedikitnya 3 partisipan atau paling banyak 8. masing-masing partisipan mengambil selembar kertas kosong dan membagi ke dalam 3 kolom. Kemudian, masing-masing anggota tim menuliskan 3 ide yang mereka tawarkan untuk menyelesaikan problem (sistem, fungsi, kendala teknis, dan lain-lain) yang sedang dibahas, masing-masing di bagian paling atas kolom. Angka 3 ini mewakili 3 pada nama metode. Ide-ide itu ditulis se jelas mungkin sehingga anggota tim yang lain dapat mengerti aspek pentingnya.

Setelah 5 menit bekerja pada konsep, lembar kertas diserahkan kepada anggota tim yang lain. Waktunya adalah “ 5 “ menit sesuai dengan nama metode ini. Sehingga anggota yang lain punya waktu 5 menit untuk menuliskan 3 idenya pada kertas. Setelah semua anggota telah mendapat gilirannya, maka tim mulai membahas ide tersebut dan mencari hasil yang paling baik. Barangkali dalam model seperti ini tidak akan ada percakapan sampai akhir sesi.

2.1.7 Analogy

Menggunakan Analogi bisa menjadi bantuan yang berguna dalam mengembangkan konsep. Cara terbaik dalam berpikir secara analogi adalah dengan mempertimbangkan kebutuhan fungsi dan kemudian bertanya, “ apa yang dapat menyediakan fungsi seperti ini ? “. Sebuah benda yang menyediakan fungsi yang serupa boleh jadi memicu ide-ide bagi sebuah konsep. Sebagai contoh, bentuk ikan paus yang *streamline* dan aerodinamis serta mampu bertahan di kedalaman laut dalam, diadaptasikan pada kapal selam yang karakteristik kerja dan fungsinya mirip dengan ikan paus (Ullmann, 1997).

Analogi seperti di atas ini sangat populer dengan istilah *Biomimetik*. Yaitu upaya pencerahan desain dengan mengamati desain yang ada pada makhluk hidup. Hal ini berjalan dengan aksioma bahwa Tuhan menyediakan desain yang luar biasa pada setiap makhluk hidup, sesuai dengan alam dan karakteristik lingkungannya. Sebagai contoh lain adalah konstruksi hexagonal atau yang kita kenal dengan konstruksi sarang lebah. Atau juga helikopter yang dapat mengapung di udara meminjam sebagian desain bentuknya kepada capung (Ullmann, 1997).

Analogi juga bisa menuntun ke ide-ide yang buruk. Berabad-abad manusia menyaksikan burung terbang dengan mengepak-gepakkan sayapnya. Analoginya mengepakkan sayap dapat mengangkat burung, sehingga mengepakkan sayap dapat juga mengangkat manusia. Hal itu (terbang) tidak pernah terwujud sampai manusia mulai bereksperimen dengan sayap tetap (*fixed-wing*). Pengalaman terbang manusia benar-benar terwujud ketika pada awal 1900-an Wright bersaudara memulai menguji dan membuat pesawat dengan fokus pada memecahkan problem terhadap empat masalah utama yang diselesaikan secara terpisah yaitu : daya angkat, stabilitas, kontrol, dan propulsi (daya-dorong) (Ullmann, 1997).

2.1.8 Ekstrem dan Inverse

Ini adalah metode informal dan sederhana, yaitu mengubah bentuk konsep yang ada ke dalam konsep yang lain dengan memperlakukannya dalam bentuk ekstrim atau kebalikannya. Berikut ini dijelaskan bagaimana melakukannya :

- Buat dalam dimensi sangat pendek atau sangat panjang. Berpikirlah apa yang terjadi jika dimensinya menjadi nol atau bahkan tak terbatas. Coba dengan berbagai dimensi.
- Cobalah meletakkan posisi yang seharusnya berada di dalam diletakkan di luar. Atau sebaliknya.
- Coba buat sesuatu yang seharusnya kaku menjadi lentur atau sebaliknya.

2.1.9 Metode Morphology

Teknik yang disajikan di sini menggunakan identifikasi fungsi untuk membantu pengembangan ide. Ini adalah metode yang sangat berguna yang digunakan secara formal, sebagaimana yang disajikan di buku-buku atau informal dalam penggunaannya sehari-hari. Metode ini terdiri dari dua langkah. Langkah pertama adalah menciptakan sebanyak mungkin ide dan menggabungkan ide-ide itu ke dalam konsep yang memenuhi kebutuhan fungsi. Langkah yang kedua adalah mengkombinasikan konsep-konsep terpisah itu menjadi satu konsep keseluruhan yang memenuhi semua fungsi yang diinginkan. Pengetahuan (*Know-*

How) seorang insinyur desain dan kreatifitasnya sangat penting di sini, sebagaimana konsep yang dikembangkan akan menentukan proses evolusi produk sampai siap produksi.

Langkah 1

Tujuan langkah pertama adalah untuk memunculkan sebanyak mungkin konsep untuk setiap fungsi yang teridentifikasi. Adalah sebuah ide yang bagus untuk menjaga konsep sebagai abstrak. Ada baiknya kita mengikuti kata bijak berikut “ *It’s hard to make a good product out of a poor concept* “. Maksudnya adalah, output yang baik sangat tergantung dengan bagaimana konsep dibuat. Semakin baik konsep yang dibuat, maka semakin besar pula peluang kesuksesan produk yang dihasilkan. Oleh karena itu konsep haruslah matang (Ullmann, 1997).

Langkah 2

Hasil dari langkah pertama adalah sebuah daftar konsep yang dikembangkan untuk setiap fungsi. Sekarang kita perlu untuk mengkombinasikan konsep-konsep terpisah ke dalam suatu konsep desain yang utuh. Metode ini untuk memilih salah satu konsep pada setiap fungsi dan mengkombinasikannya ke dalam satu desain. Meskipun konsep yang dikembangkan pada tahap ini masih dalam bentuk abstrak, inilah saatnya sketsa desain mulai berdaya guna. Sekarang desain yang masih berupa sket dan tekstual dimanifestasikan dalam gambar. Ada beberapa hal kenapa gambar menjadi penting sampai tahap ini :

1. Kita bisa mengingat dan memahami fungsi dari bentuknya.
2. Satu-satunya cara mendesain objek dengan segala kompleksitasnya adalah dengan menggunakan sketsa untuk menambah memori jangka pendek.
3. Sketsa yang dibuat dalam buku catatan desain menyediakan catatan pengembangan konsep dan produk.

Meskipun metode *Morphology* ini kelihatan sederhana, teknik ini benar-benar digunakan oleh para profesional desain dalam perancangan mereka. Satu fitur yang dipakai oleh industri adalah metode ini dapat digunakan untuk menyimpan latar belakang penggunaan suatu fungsi untuk pengembangan produk ke depan.

2.1.10 Metode Logika

Pada 1990-an, ada dua metode logika yang dikembangkan. Yang pertama dari dua metode itu TRIZ, dikembangkan di Uni Sovyet mulai tahun 1950-an sampai saat ini berdasarkan penemuan pola pada pematenan ide. Akibat kebijakan tirai besi Uni Sovyet, TRIZ baru dapat dipublikasikan ke dunia barat ketika mulai dibukanya hubungan antara blok Barat dan blok Timur (sebagai akibat dari runtuhnya Uni-Sovyet) yaitu pada awal tahun 1990. TRIZ adalah suatu kumpulan metode yang rumit yang membutuhkan studi yang khusus pula.

Sedangkan metode yang kedua adalah *axiomatic design* dikembangkan di MIT - Massasuchet Institute of Technology - oleh Prof. Nam Pyo Suh pada tahun 1970-an, berdasarkan teori-teori akademis bagaimana sebuah produk dikembangkan. Berikut adalah selang pandang mengenai kedua teori itu.

2.1.11 The Theory of Inventive Machine (TRIZ)

TRIZ (diucapkan trees) adalah akronim dari bahasa Rusia : *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch* (The Theory of Inventive Machine). TRIZ disusun berdasarkan pada ide bahwa banyak masalah teknis mendasar yang dihadapi para insinyur sebenarnya sudah pernah dipecahkan bahkan pada industri yang benar-benar berbeda, dalam situasi yang benar-benar berbeda, yang menggunakan teknologi yang berbeda. Teorinya adalah dengan TRIZ kita akan berinovasi secara sistematis, kita tak perlu menunggu “ilham“ dengan menggunakan *trial and error*. Para praktisi TRIZ memiliki rating pengembangan produk baru yang tinggi, juga ide-ide yang dipatenkan tentunya. Untuk memahami TRIZ dengan baik, ada baiknya kita ketahui sejarah yang melatarbelakanginya.

Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Genrikh (atau Henry) Altshuller, seorang insinyur teknik mesin, penemu, dan investigator hak paten angkatan laut Uni Sovyet (sekarang Rusia). Setelah Perang Dunia ke II, Altshuller diberi tugas oleh pemerintah Uni Sovyet untuk studi mengenai hak paten di seluruh dunia dan mencari strategi teknologi bagi Uni Soviet mengenai hal itu. Ia mencatat bahwa beberapa prinsip yang sama telah digunakan berkali-kali oleh

industri yang sama sekali berbeda (sering kali terpaut bertahun-tahun) untuk memecahkan masalah yang sama (Ullmann, 1997).

Altshuller menyusun ide bahwa penemuan bisa diorganisasikan, dan dikumpulkan berdasarkan fungsi daripada sistem index yang lazim pada saat itu. Dari temuannya itu, Altshuller mulai mengembangkan basis pengetahuan lanjutan, yang mengandung banyak sekali temuan bidang fisika, kimia, dan efek geometri bersamaan dengan dasar-dasar keteknikan, fenomena dan pola evolusi penemuan ilmiah. Sejak 1950-an, dia telah menerbitkan banyak buku dan artikel keteknikan dan mengajarkan TRIZ kepada ribuan pelajar Uni Sovyet.

Studi pendahuluan Altshuller pada akhir 1940-an berkisar pada 400.000 paten. Hari ini jumlah paten yang dikumpulkan mencapai 2,5 juta paten. Data yang sekian banyak telah menuntun beragam metode TRIZ. Secara umum, Altshuller mengelompokkan pemecahan permasalahan yang ada pada literatur paten ke dalam lima level :

- Level 1 : solusi desain yang rutin melalui metode yang telah diketahui pada permasalahan khusus. Kategori ini mencakup 30 persen dari total.
- Level 2 : koreksi minor pada sistem yang sudah ada dengan menggunakan metode yang telah ada di dalam industri. Mencakup 45 persen dari total.
- Level 3 : perbaikan yang bersifat fundamental terhadap sistem yang sudah ada yang menyelesaikan kontradiksi di industri. 20 persen dari total. Di sinilah proses desain kreatif terjadi.
- Level 4: solusi berdasarkan aplikasi prinsip ilmiah yang baru untuk menjalankan fungsi utama desain. 4 persen dari total.
- Level 5 : penemuan pioner berbasis penemuan teknologi baru. Kurang dari 1 persen.

TRIZ ditujukan untuk memperbaiki *design concepts* pada level 3 dan 4, dimana aplikasi langsung benda teknik praktis, tidak menghasilkan hasil akhir yang diinginkan. Teknik kontradiksi konvensional mampu memecahkan masalah trade-off, akan tetapi TRIZ bertujuan menghapus kebutuhan terhadap kompromi. Karena TRIZ lebih terstruktur dari brainstorming dan teknik kreatif lainnya, TRIZ mulai dapat diterima dan dipelajari di Amerika Serikat.

Pada metode TRIZ, semua permasalahan dibagi ke *mini-problem* dan *maxi problem*. *Mini-problem* terjadi ketika kekurangan berusaha diperbaiki atau dihilangkan tetapi sistem tetap tidak berubah. *Maxi-problem* adalah problem yang timbul ketika sistem yang baru ditemukan berdasarkan prinsip fungsi yang baru. *System conflict* atau kontradiksi terjadi ketika usaha untuk memperbaiki beberapa atribut sistem membawa ke arah yang lebih buruk pada sistem yang lain. Konflik yang biasa terjadi adalah *reliability vs complexity*, *productivity vs accuracy*, *strength vs ductility*, dan lain-lain (Dieter, 2000). TRIZ berusaha menggunakan solusi kreatif untuk menanggulangi konflik pada sistem. Untuk menyelesaikan konflik itu, Altshuller menyusun 40 prinsip TRIZ sebagai berikut.

Tabel 2.1 Prinsip-Prinsip Metode TRIZ

No	Principles	No	Principles
1.	<i>Segmentation</i>	21.	<i>rushing through</i>
2.	<i>extraction</i>	22.	<i>convert harm into benefit</i>
3.	<i>local quality</i>	23.	<i>feedback</i>
4.	<i>asymmetry</i>	24.	<i>mediator</i>
5.	<i>combining</i>	25.	<i>self – service</i>
6.	<i>universality</i>	26.	<i>copying</i>
7.	<i>nesting</i>	27.	<i>an inexpensive short ived object</i>
8.	<i>counterweight</i>	28.	<i>replacment of a mechanical system</i>
9.	<i>prior counteraction</i>	29.	<i>use of a pneumatic or hydraulic construction</i>
10.	<i>prior action</i>	30.	<i>flexible film or thin membrane</i>
11.	<i>cushion in advance</i>	31.	<i>use of porous material</i>
12.	<i>equipotentiality</i>	32.	<i>change the color</i>
13.	<i>inversion</i>	33.	<i>homogeneity</i>
14.	<i>spheroidality</i>	34.	<i>rejecting and regenerating parts</i>
15.	<i>dynamicity</i>	35.	<i>transformation of physical an chemical states</i>
16.	<i>partial or overone action</i>	36.	<i>phase transition</i>
17.	<i>moving to a new dimension</i>	37.	<i>thermal expansion</i>
18.	<i>mechanical vibration</i>	38.	<i>use strong oxidizers</i>
19.	<i>periodic action</i>	39.	<i>inert envirointment</i>
20.	<i>continuity of usefull action</i>	40.	<i>composite materials</i>

Sumber : Ullman, David G., 1997

Tabel 2.2 Parameter-Parameter pada Metode TRIZ

No	Principles	No	Principles
1.	Weight of moving object	21	Power
2	Weight of nonmoving object	22	Waste of energy
3	Length of moving object	23	Waste of substance
4	Length of nonmoving object	24	Loss of information
5	Area of moving object	25	Waste of time
6	Area of nonmoving object	26	Amount of substance
7	Volume of moving object	27	Reliability
8	Volume of nonmoving object	28	Accuracy of measurement
9	Speed	29	Accuracy of manufacturing
10	Force	30	Harmful factors acting on object
11	Tension, pressure	31	Harmful side effect
12	Shape	32	Manufacturability
13	Stability of object	33	Convenience of use
14	Strength	34	Repairability
15	Durability of moving object	35	Adaptability
16	Durability of nonmoving object	36	Complexity of device
17	Temperature	37	Complexity of control
18	Brigthness	38	Level of automation
19	Energy spent by moving object	39	Productivity
20	Energy spent by nonmoving object		

Sumber : Dieter, George E., 2000

Ada dua tipe kontradiksi pada metode TRIZ, yaitu *physical contradiction* dan *technical contradiction*. Berikut ini adalah contoh cara menyelesaikan kontradiksi menggunakan metode TRIZ (Dieter, 2000).

Contoh permasalahan (Dieter, 2000) :

“ Sebuah pipa logam digunakan secara pneumatik untuk menghantarkan bijih plastik. Perubahan pada proses produksi menuntut penggunaan serbuk logam sekarang digunakan bersamaan dengan bijih plastik di dalam pipa logam. Serbuk logam yang keras menyebabkan gesekan yang menimbulkan erosi pada dinding dalam pipa pada siku yang bersudut 90^0 . Solusi konvensional pada masalah ini adalah dengan melibatkan penggunaan campuran logam anti gesek dan anti abrasi pada siku pipa, menyediakan siku yang bisa dilepas ketika siku sudah rusak, atau mendesain ulang bentuk siku. Namun solusi diatas memerlukan tambahan biaya sehingga solusi lain harus dicari “.

Pertama kita harus berpikir tentang fungsi yang disediakan oleh siku. Fungsi utamanya adalah untuk mengubah arah dari aliran partikel logam. Kita ingin meningkatkan kecepatan dimana partikel logam dihantarkan, dan pada waktu yang sama mengurangi kebutuhan energi. Kebutuhan pertama melibatkan parameter 9 dan kebutuhan kedua melibatkan parameter 19.

Bila kita berpikir mengenai menambah kecepatan partikel, kita dapat membayangkan bahwa parameter lain pada sistem akan terganggu pada secara negatif. Sebagai contoh menambah kecepatan menambah gaya yang mana partikel menghantam dinding dalam siku pipa, dan menambah erosi. Hal ini dan parameter lainnya yang terganggu ditampilkan dibawah ini :

tabel 2.3 *improving speed*
Improving speed (parameter 9)

<i>Degraded parameter</i>	<i>Parameter number</i>	<i>Inventive principled used</i>
<i>Force</i>	10	13, 28, 15, 19
<i>Durability</i>	15	8, 3, 26, 14
<i>Temperature</i>	17	28, 30, 36, 2
<i>Energy</i>	19	8,15, 35, 38
<i>Loss of matter</i>	23	10, 13, 28, 38
<i>Quantity of substance</i>	26	10, 19, 29, 38

Tabel 2.4 *improving energy*
Improving energy (parameter 19)

<i>Degraded parameter</i>	<i>Parameter number</i>	<i>Inventive principled used</i>
<i>Convenient to use</i>	33	28, 35, 30
<i>Loss of time</i>	25	15, 17, 13, 16

Frekuensi yang dihitung dari prinsip inventive yang disarankan adalah prinsip 28 “ *Replacement of a Mechanical System* ” muncul sebanyak 4 kali. Untuk prinsip yang lain berserta frekuensi kemunculannya 13 (3), 15 (3), dan 38 (3). Deskripsi dari prinsip ke 28 adalah :

28. *Replacement of a Mechanical System*

- a. Mengganti sistem mekanis dengan bersifat optik, akustik, atau bau.
- b. Menggunakan alat elektrik, magnetik, medan elektromagnetik, untuk interaksi dengan objek.

- c. Mengganti wilayah. Contohnya (1) statis diganti menjadi rotasi, (2) tetap diganti menjadi random.
- d. Gunakan wilayah yang berkonjungsi dengan partikel ferromagnetik.

Prinsip 28b menyarankan solusi kreatif dengan mengganti magnet pada siku untuk menarik dan menahan lapisan tipis serbuk logam yang akan mengarahkan gerak sesuai profil siku yang bersudut 90^0 dan juga menghindari erosi pada dinding dalam siku. Solusi ini akan berhasil hanya jika partikel logam itu bersifat ferromagnetik sehingga bisa dipengaruhi oleh medan magnet.

2.1.12 Axiomatic Design

Axiomatic design dikembangkan oleh Professor Nam Pyo Suh dari MIT (Massachusetts Institute of Technology) sebagai upaya membuat logika proses desain. *Axiomatic design* berdasarkan dua aksioma yang dikembangkan Professor Nam Pyo Suh pada tahun 1970-an dan lebih dari 30 akibat dan teorema yang mendukung aksioma tersebut. Sebelum memasuki teori dari *Axiomatic Design*, maka terlebih dahulu perlu diketahui beberapa istilah pentingnya :

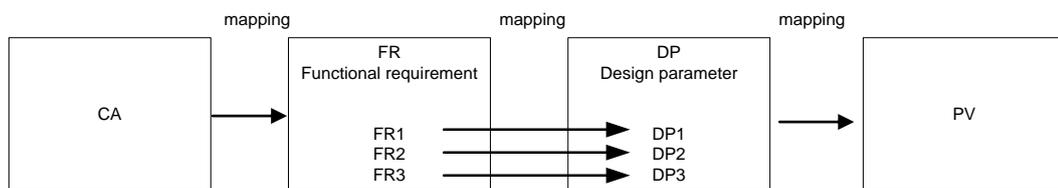
- CA : *Customer Attribute*. Yaitu domain yang menampung kebutuhan dari sudut pandang pengguna.
- FR : *Functional Requirement*. Yaitu domain yang menampung semua fungsi yang ingin dicapai dari suatu desain atau produk.
- DP : *Design Parameter*. Yaitu domain yang menjadi manifestasi dari FR bagaimana fungsi dari domain FR itu diwujudkan.
- PV : *Process Variable*. Yaitu domain yang membahas bagaimana desain atau produk diproduksi. Atau dalam bahasa yang sederhana, PV adalah domain proses produksi dari suatu desain sebelum menjadi produk.

Aksioma pertama : adalah aksioma independen yang menyatakan, “*menjaga kebebasan kebutuhan fungsi* “. Maksudnya adalah, idealnya suatu perubahan pada suatu desain parameter yang spesifik hanya memiliki efek pada satu fungsi saja. Di dalam desain axiomatic jumlah pasangan antara fungsi dapat

dianalisa dan digunakan untuk membimbing pengembangan produk. (Dieter, 2000).

Aksioma kedua : “ *minimasi konten informasi desain* “. Meskipun pernyataan ini memiliki makna matematis yang tidak disajikan dalam tulisan ini, inti dari aksioma ini adalah desain yang paling simpel memiliki peluang sukses terbesar dan merupakan alternatif terbaik.

Dasar dari teori desain ini adalah ide dari *functional requirements* (FRs) dan *design parameter* (DPs). Prof. Suh melihat proses desain teknik sebagai *interplay* antara apa yang hendak dicapai dan bagaimana mencapainya. Tujuan selalu dinyatakan sebagai *domain fungsional*, dan selanjutnya (solusi fisik) dikembangkan pada *domain fisik*. Prosedur desain ditentukan berdasarkan dengan hubungan dua domain tersebut pada setiap level hirarki proses desain sebagaimana pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konsep Prof. Suh Tentang Proses Desain aksioma

Sumber : Suh, Nam Pyo, 2000

Tujuan dari desain didefinisikan dalam *domain functional requirement* (FRs). Dalam rangka memperoleh kebutuhan fungsi yang memuaskan, dibuatlah satu domain lagi yaitu *design parameters* (DPs). Sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 2.4 diatas, proses desain berdasarkan dari pemetaan (*mapping*) FRs dari domain fungsi ke DPs untuk menciptakan produk, proses, sistem atau suatu gabungan yang memenuhi kebutuhan. Proses pemetaan ini tidaklah khusus, sehingga akan ada lebih dari satu desain yang dapat dihasilkan dari pengembangan DPs untuk memenuhi FRs. Namun hasil yang diperoleh tetaplah berdasarkan kreatifitas desainer. Desain aksioma menyediakan prinsip-prinsip yang membuat pemetaan DPs ke FRs menghasilkan desain yang baik.

Proses pemetaan dari domain yang satu ke domain yang lain dapat dinotasikan secara matematis dalam bentuk vektor yang menyatakan bagaimana hubungan antara tujuan desain dan solusi desain. Mula-mula kita membuat set FRs yang sudah diketahui pada domain FRs. Kemudian kita melakukan hal yang serupa pada set DPs (solusi dari FRs) dan meletakkannya pada domain DPs. Hubungan yang dibentuk ditulis dalam persamaan berikut :

$$\{FR\} = [A] \{ DP \} \dots\dots\dots 2.1$$

[A] adalah *design matrix* yang menjadi karakter dari desain. Persamaan 2.1 disebut juga persamaan desain. Untuk *design matrix* dengan 3 FRs dan 3 DPs, maka bentuk persamaannya adalah :

$$[A] = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} \dots\dots\dots 2.2$$

Persamaan 2.1 di atas dapat juga ditulis dalam bentuk elemen penyusunnya menjadi :

$$FR_i = \sum_{j=1}^3 A_{ij} DP_j$$

Atau

$$\begin{aligned} FR_1 &= A_{11}DP_1 + A_{12}DP_2 + A_{13}DP_3 \\ FR_2 &= A_{21}DP_1 + A_{22}DP_2 + A_{23}DP_3 \dots\dots\dots 2.3 \\ FR_3 &= A_{31}DP_1 + A_{32}DP_2 + A_{33}DP_3 \end{aligned}$$

Pada *design matrix*, ada dua kasus khusus : *diagonal matrix* dan *triangular matrix*. Pada *diagonal matrix*, seluruh $A_{ij}=0$ kecuali dimana $i=j$.

$$[A] = \begin{vmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{vmatrix}$$

Pada *design matrix triangular* ada dua kondisi : (LT) *Lower Triangular* dan (UT) *Upper Triangular*.

$$\begin{array}{ccc}
& \text{LT} & \text{UT} \\
[A] = & \begin{vmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} & [A] = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ 0 & A_{22} & A_{23} \\ 0 & 0 & A_{33} \end{vmatrix}
\end{array}$$

Suatu desain dinyatakan memenuhi aksioma pertama bila *design matrix* berbentuk salah satu dari *diagonal* atau *triangular*. Ketika *design matrix* berbentuk *diagonal*, maka setiap fungsinya (FRs) berkorespondensi dengan DPs secara terpisah dan satu-satu. Dalam *axiomatic design*, hal ini dinamakan dengan *uncoupled design*. Ketika *design matrix* berbentuk *triangular*, maka independensi FRs dapat dijamin jika dan hanya jika DPs ditentukan dalam urutan yang benar. Kondisi seperti ini dikatakan sebagai *decoupled design*.

Dalam hal kaitannya dengan bagaimana FRs berinteraksi terhadap DPs, maka desain terbagi tiga :

1. *Uncoupled Design / Ideal Design*

Ketika jumlah DPs = FRs, maka desain merupakan desain yang ideal. Artinya setiap FRs yang harus dipenuhi fungsinya, berkorespondensi satu-satu dengan DPs sebagai solusi domain fisiknya (Suh, 2001).

2. *Redundant Design*

Redundant design atau terkadang dapat diartikan sebagai *overdesign* terjadi, ketika jumlah DPs yang diperlukan sebagai solusi domain fisik lebih besar dari jumlah FRs (Suh, 2001).

$$\begin{vmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & A_{14} & A_{15} \\ A_{21} & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \\ DP_5 \end{vmatrix} \dots\dots\dots 2.4$$

Design matrix semacam ini memiliki beragam karakteristik, tergantung DP mana yang diubah dan dibuat tetap. Jika DP₁ dan DP₄ dibuat berubah setelah DPs yang lain dibuat tetap untuk mengontrol nilai FRs, desain menjadi *coupled*. Dalam kondisi yang lain, jika kita membuat tetap nilai DP₁, DP₄ dan DP₅, desain

menjadi seperti *uncoupled design*. Jika DP₃, DP₄, dan DP₅ dibuat tetap, desain kemudian menjadi *decoupled design*. Jika DP₁ dan DP₄ diset terlebih dahulu, desain tampaknya menjadi *uncoupled redundant design* (Suh, 2001).

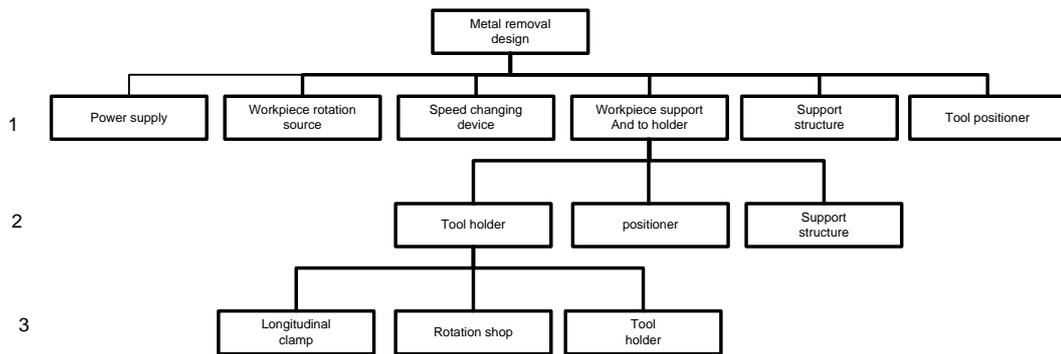
3. *Coupled Design*.

Ketika jumlah DPs kurang dari FRs, maka akan selalu terjadi *coupled design* (Suh, 2001). Buktinya diberikan sebagai berikut : sebagai contoh, ada tiga FRs yang harus dipenuhi oleh seorang desainer dengan hanya dua DPs saja. Maka *design matrix*-nya adalah seperti dibawah ini :

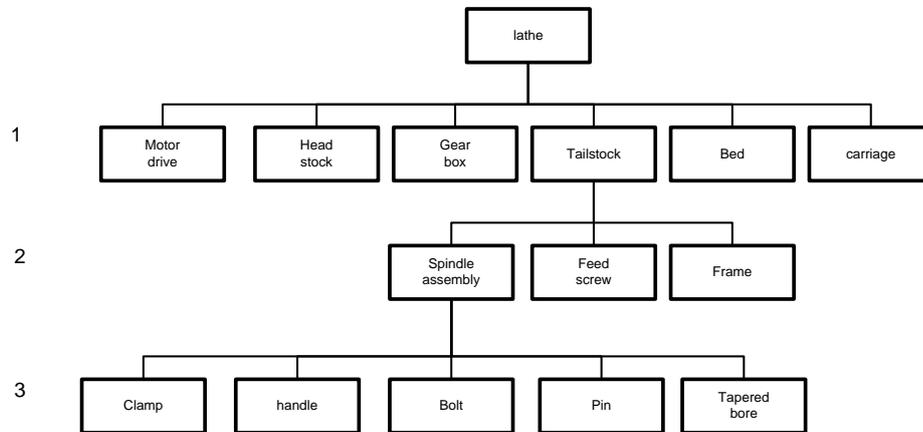
$$\begin{vmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X & 0 \\ 0 & X \\ A_{31} & A_{32} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{vmatrix}$$

Jika A₃₁ dan A₃₂ bernilai 0, maka FR₃ tidak dapat terpenuhi. Konsekuensinya desain tidak berfungsi.

Pada *Axiomatic Design*, terdapat hirarki FRs dan DPs. Pada gambar 2.5 menampilkan contoh hirarki fungsional dari proses bubut. Hirarki solusi fisiknya (DPs) ditunjukkan pada gambar 2.6. FRs pada level ke-i tidak dapat dipecah ke level berikutnya pada hirarki FR, tanpa terlebih dahulu melalui tahap domain fisik, dan mengembangkan sebuah solusi yang memenuhi FR level ke-i yang semuanya berkorespondensi dengan DPs. Sebagai contoh, ketika FR sedang membahas *workpiece support and tool holder* pada gambar 2.5, tidak dapat dipecah lagi sampai level FR ke tiga sampai ia diselesaikan pada domain fisik dimana diputuskan menggunakan *tailstock* seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Contoh Hirarki FRs untuk Kebutuhan Proses Bubut.
sumber : Dieter, George E., 2000



Gambar 2.6 Contoh Hirarki Desain Fisik (DPs) proses bubut.
sumber : Dieter, George E., 2000

Akan ada banyak solusi desain yang dapat memenuhi kebutuhan FRs. Namun ketika desain FRs ditemukan dan mengubah desain, maka solusi harus mengikuti. Set DPs yang baru tidak boleh sekedar modifikasi pada DPs. Namun lebih jauh lagi, ia haruslah solusi yang komplit.

Batasan desain menggambarkan batasan solusi yang dapat diterima. Batasan desain (*design constraint*) boleh jadi pada batasan pada input ataupun pada sistem. Batasan yang paling utama adalah batasan pada spesifikasi desain seperti berat, kekuatan material, biaya, ataupun ukuran, kemudian pada kapasitas mesin, hukum fisika, ataupun bentuk. Sebuah batasan adalah perbedaan dari suatu FR dimana ia tidak dapat independen terhadap FR yang lain (Suh, 2001).

Dua desain aksioma yang telah disebutkan sebelumnya merupakan bentuk ringkasnya. Sekarang akan dinyatakan ulang dalam bentuk yang lebih jelas.

Aksioma 1 : *the independence axiom*

Alternatif pernyataan 1: sebuah desain yang optimal selalu menjaga independensi FR.

Alternatif pernyataan 2 : dalam sebuah desain yang diterima, DPs dan FRs berhubungan seperti DP yang spesifik dapat disesuaikan untuk memenuhi korespondensinya dengan FR tanpa berefek pada FR yang lain.

Aksioma 2 : *the information axiom*

Alternatif pernyataan : desain terbaik adalah secara fungsional desain yang tidak berpasangan yang berisi seminimum mungkin informasi.

Ada tujuh akibat (*corollary*) utama yang dapat diturunkan dari dua aksioma dasar. Kita dapat melihat pernyataan dibawah ini sebagai aturan desain yang sangat berguna dalam keputusan desain.

Corollary 1 : Decoupling of A Coupled Design

Pemisahan komponen-komponen atau aspek-aspek dari solusi jika FRs berpasangan atau menjadi saling berkaitan dari desain yang semestinya.

Corollary 2 : Minimize FRs

Minimasi jumlah FRs dan hambatan. Bertambahnya elemen yang satu ini dapat menambah konten informasi. Jangan mencoba membuat desain yang melebihi kebutuhan (*overdesign*). Sebuah desain yang menjalankan fungsi yang berlebih dari yang diperlukan, akan lebih mahal untuk dioperasikan ataupun dibuat. Dan juga reliabilitas yang rendah.

Corollary 3 : Integration of Physical Parts

Mengintegrasikan fitur desain dalam satu fisik desain dianjurkan, selama FRs dapat secara independen memenuhi desain yang semestinya.

Corollary 4 : Use of Standardization

Penggunaan komponen yang terstandarisasi memungkinkan pergantian komponen yang mudah dan murah. Selama ia masih menjalankan desain yang semestinya.

Corollary 5 : Use of Symmetry

Penggunaan bentuk atau penyusunan yang simetri jika konsisten dengan FRs dan batasan desain.

Corollary 6 : Largest Tolerance

Spesifikasikan toleransi terbesar yang diperkenankan.

Corollary 7 : Uncoupled Design With Less Information

Carilah sebuah desain yang *uncoupled* yang memerlukan sedikit informasi daripada *coupled design* untuk memenuhi FRs. Selalu kerjakan *uncoupled design* yang mengandung sedikit informasi. Implikasi dari akibat ini adalah, jika seorang desainer menyodorkan sebuah desain yang *uncoupled*, namun mengandung informasi lebih banyak dari desain yang *coupled*, maka ia sebaiknya mulai lagi dari awal karena desain yang baik barangkali tercecer di tempat lain.

2.2 Elemen Mesin

Alat yang dirancang pada tugas akhir ini memerlukan konsep-konsep elemen mesin seperti sistem penggerak dan transfer daya. Untuk mengakomodasi tujuan itu, penulis menyisipkan beberapa teori elemen mesin dan struktur rangka yang nantinya akan dimanfaatkan pada perancangan alat pengangkat galon ini.

2.2.1 Gir (Gear)

Gir adalah salah satu elemen mesin yang paling banyak di bahas dan penggunaannya dalam suatu mesin. Fungsi utama dari gir adalah meneruskan

daya rotasi dari mesin, untuk menggerakkan suatu komponen mesin, atau mengubah kecepatan (dalam arti mereduksi atau meningkatkan), atau mengubah *torsi* yang akan diteruskan (Norton, 1999). Kelebihan dari gir dibandingkan *puley* adalah keberadaan gigi yang mencegah gir untuk slip. Yang disebut *pinion* adalah gir yang paling kecil. Yang lebih besar biasa dinamakan gir

Ada beberapa tipe gir yang lazim digunakan, beberapa diantaranya akan disebutkan dibawah ini :

A. *Spur Gears*

Gir spur ini merupakan tipe gir yang paling banyak penggunaannya dan paling murah biaya pembuatannya. Oleh karena itu harga jualnya pun menjadi paling murah diantara semua jenis gir.



Gambar 2.7 Gir Spur

Sumber : www.khkgears.co.jp

B. *Helix Gears*

ini adalah gir yang giginya dibentuk dalam bentuk sudut *helix* ψ terhadap porosnya sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.8. Gir semacam ini biasanya dipakai pada beban daya transfer yang besar. Bentuk giginya yang bersudut *helix* membuatnya memiliki kekuatan struktur yang besar. Sehingga aman digunakan untuk memindahkan daya torsi besar.



Gambar 2. 8 Contoh Sebuah Gir Helix Poros Seri

Sumber : www.khkgears.co.jp

Dua buah gir helix yang disusun secara menyilang dapat menyatu dengan porosnya pada satu sudut sebagaimana pada gambar 2.9. Sudut helix dapat dirancang untuk mengakomodasi beragam sudut kemiringan antara poros yang tidak bersinggungan. Gir yang lebih kecil biasanya disebut dengan *pinion* dan berfungsi sebagai *driver* (penggerak dari input rotasi) sedangkan yang lebih besar disebut gir saja dan berfungsi sebagai *driven* (yang digerakkan).



Gambar 2.9 Contoh Gir Helix Sumbu-Silang

Sumber : www.khkgears.co.jp

Gir helix lebih mahal daripada gir spur akan tetapi memiliki beberapa keuntungan. Gir helix tidak seberisik gir spur diakibatkan konjugasi yang lebih lembut, dan kontak yang lebih gradual antara sudut permukaan giginya yang saling bertautan. Gigi pada gir spur bertaut hanya dalam satu kali saja dan waktu yang singkat. Sehingga timbul suatu hantaman tiba-tiba antara gigi dengan gigi yang menyebabkan getaran yang terdengar seperti bunyi “ *whine* “ yang menjadi karakteristik dari gir spur, akan tetapi tidak ada pada gir helix. Juga, untuk diameter gir dan diameter *pitch* yang sama, gir helix lebih kuat dibanding gir spur

diakibatkan irisan gigi yang lebih tebal pada bidang perpotongan terhadap sumbu rotasi.

C. *Herringbone Gear*

Gir ini dibentuk dengan menyatukan dua gir *helix* yang identik *pitch* dan diameternya akan tetapi pada sisi yang berlawanan pada sumbu. Dua set gigi kadang-kadang dipotong pada alat yang sama. Keuntungannya dibandingkan gir *helix* adalah menihilkan gaya dorong internal pada sumbu rotasi, selama masing-masing sisi yang berlawanan itu memberikan gaya dorong yang berlawanan. Sehingga tidak perlu ada *bearing* selain menempatkannya pada sumbu poros. Gir tipe ini jauh lebih mahal dari gir *helix* dan cenderung dibuat dan digunakan dalam ukuran yang besar, aplikasi daya tinggi seperti pendorong kapal, dimana rugi gesek dari beban aksial tidak diperbolehkan. Gambar *herringbone gear* diperlihatkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sebuah *Herringbone Gear*

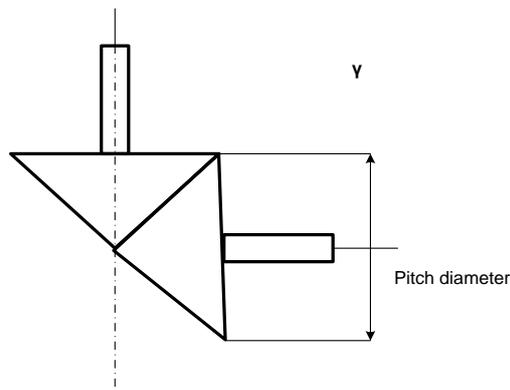
Sumber : www.khkgears.co.jp

Efisiensi dari *spur gearset* dapat mencapai 98 sampai 99 %. *Helix gearset* memiliki efisiensi yang lebih rendah dari *spur gearset* diakibatkan gesekan luncur sepanjang sudut *helix*. Gir ini juga menghadirkan gaya reaksi sepanjang sumbu rotasi gear, dimana gir *spur* tidak mengalaminya. Sehingga *helix gearset* harus memiliki *bearing* seperti *radial bearing* pada porosnya untuk mencegah gir tersebut terdorong lepas sepanjang sumbu. Beberapa rugi gesek terjadi pada *bearing*. Sebuah *parallel helical gearset* memiliki efisiensi sekitar 96 sampai 98 %, dan sebuah *helix silang* memiliki efisiensi hanya 50 sampai 90 %.

Jika suatu gearset harus dipindahkan ke dalam ataupun keluar dari tautan selagi bergerak, maka gir spur merupakan pilihan yang lebih bagus daripada gir *helix*, sebagaimana persilangan sudut *helix* dengan pergerakan pergantian sumbu.

D. Bevel Gears

Untuk pergerakan sudut yang akurat, gir helix silang ataupun suatu set gigi cacing dapat digunakan. Untuk sudut berapapun antara poros, termasuk 90^0 , gir bevel bisa menjadi solusi. Sebagaimana gir spur yang berbasis pada silinder yang berputar, gir bevel berbasis pada kerucut yang berputar sebagaimana pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Gir Bevel dan Pemasangan yang Tepat

Sumber : Norton, 1999

Jika gigi pada gir bevel paralel dengan sumbu gir, maka ia menjadi *straight bevel gear* sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Contoh *straight bevel gear*

Sumber : www.khkgears.co.jp

Jika gigi gir bersudut terhadap sumbu, maka ia dinamakan *spiral bevel gear*, analog dengan gir *helix*.



Gambar 2.13 Contoh *Spiral Bevel Gear*

Sumber : www.khkgears.co.jp

Keuntungan dan kekurangan dari *straight bevel gear* dan *spiral bevel gear* serupa antara gir spur dan gir *helix*, pada pertimbangan kekuatan, kesenyapan, dan biaya. Gigi pada gir bevel tidaklah involut akan tetapi berbasis pada kurva gigi *octoid*. Gir ini harus ditautkan dalam pasangannya sebagaimana ia tidak mudah diganti pasangannya.

E. Worm Gears

Apabila sudut helix bertambah secara aktual, maka hasilnya adalah sebuah *worm* atau cacing, yang hanya satu giginya saja yang berinteraksi. Analog dengan ulir pendorong. Cacing semacam ini dapat dipasangkan dengan roda cacing (*worm wheel*) khusus dimana sumbu-nya saling bersilangan sebagaimana gambar dibawah ini.



Gambar 2.14 Contoh Pasangan *Worm* dan *Wormgear*

Sumber : www.khkgears.co.jp

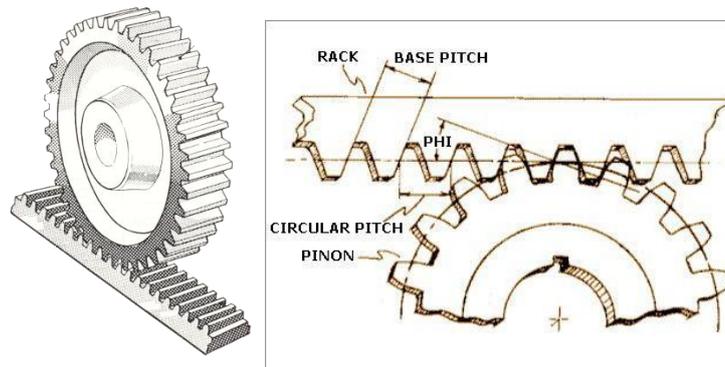
Karena kontak antara cacing dan gir cacing serupa dengan gir lainnya, maka rumus dasar gir yang telah dikemukakan diatas berlaku juga untuk gir semacam ini. Gigi cacing bukan involute yang berarti *center distance* harus diatur secermat mungkin untuk menjamin aksi konjugasi.

Cacing dan rodanya harus dibuat dan dipasang sebagai satu set pasangan. Girset cacing seperti ini memiliki keuntungan rasio gir yang tinggi dalam paket yang kecil dan dapat menerima beban yang besar khususnya dalam girset tunggal maupun ganda. Efisiensi dari girset cacing berkisar antara 40 sampai 85 %.

Barangkali keuntungan terbesar yang dimiliki girset cacing adalah, desain semacam ini membuat gerak balik (*backdrive*) menjadi tidak mungkin. Gir spur maupun *helix* dapat digerakkan dari kedua sisi porosnya. Sementara itu, dalam beberapa kondisi dan keperluan, beban yang sudah digerakkan harus ditahan pada posisi yang sama ketika daya dihilangkan. Hal ini yang tidak bisa dilakukan oleh gir spur maupun helix.

F. Rack dan Pinion

Bila diameter basis lingkaran pada sebuah gir bertambah terus tanpa batas, basis lingkaran akan menjadi garis lurus. Jika “garis” menyelimuti lingkaran dasar ini untuk membentuk involute masih berada pada tempatnya setelah perluasan dari lingkaran basis sampai radius yang tak terbatas, garis tersebut akan dipancangkan pada tak terbatas dan akan membentuk sebuah involute yang berupa garis lurus. Gir linear ini dinamakan *rack*. Giginya berupa *trapezoid*, bukan *involut*. Fakta ini memudahkan untuk membuat alat potong untuk membentuk involut pada gigi pinionnya. Gambar 2.15 memperlihatkan sebuah *rack* dan pinionnya. Penggunaannya yang umum diaplikasikan pada sistem kemudi mobil. Juga dipakai pada dongkrak mobil tentunya setelah dirangkai dengan girset. Karena pertimbangan desain dan biaya, maka gir spur digunakan untuk memenuhi kriteria sebagai elemen rancangan.



Gambar 2.15 Contoh Rack dan Pinion
 Sumber : Norton, 1999

2.2.2 Hukum Dasar Gir (*fundamental law of gear*)

Secara konseptual, gigi dalam formasi dan bentuk apapun akan mencegah suatu slip. Hukum dasar gir berbunyi : “ *ratio kecepatan sudut antara gir di dalam suatu girset tetap konstan selama masing-masing gir saling bertaut.* ” (Norton, 1999).

Rasio kecepatan sudut (m_v) berbanding lurus dengan ratio radius pinion dan gear dinyatakan dalam persamaan :

$$m_v = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} = \pm \frac{r_{in}}{r_{out}} = \pm \frac{d_{in}}{d_{out}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$m_T = \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} = \pm \frac{r_{out}}{r_{in}} = \pm \frac{d_{out}}{d_{in}} \dots\dots\dots(2.6)$$

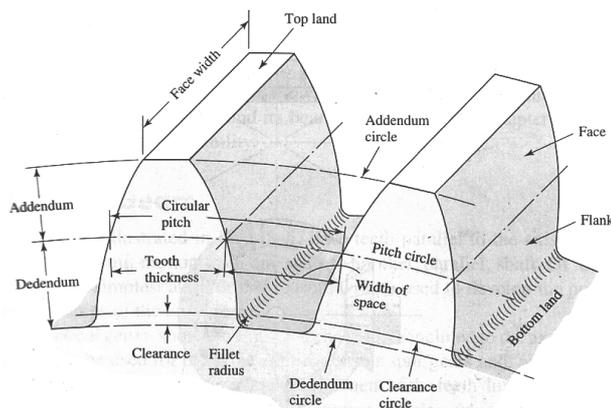
- Dengan ω = kecepatan sudut, rev/s
- r = jari-jari gir, (mm)
- d = diameter gir, (mm)

Rasio torsi (m_T) berbanding terbalik dengan rasio kecepatan (m_v), sehingga suatu girset secara esensial adalah suatu alat untuk menukar torsi dengan kecepatan atau kebalikannya. Selama tidak ada aplikasi gaya yang dibebankan padanya seperti pada *linkage*, akan tetapi hanya pembebanan torsi saja pada gir, keuntungan mekanis m_A suatu girset setara dengan rasio torsinya m_T . Aplikasi semacam ini banyak digunakan untuk keperluan mengurangi kecepatan rotasi dan

diubah menjadi torsi yang lebih besar untuk menggerakkan beban yang berat seperti dalam transmisi mobil.

2.2.3 Nomenklatur gir

Terminologi dari gigi spur seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.16 Sistem Gigi (tooth nomenclature)

Sumber : Shigley and Mischke, 2001

Pitch circle adalah suatu lingkaran yang dianggap sebagai garis lingkaran dalam semua perhitungan gir spur; diameternya adalah *pitch diameter*. *Pitch circle* dari sepasang gir adalah saling bersinggungan satu sama lain..

Circular pitch, p, adalah jarak yang diukur dari *pitch circle*, dari satu titik pada gigi ke titik pada gigi yang terdekat. Sehingga *circular pitch* adalah sama dengan jumlah dari *tooth thickness* dan *width of space*.

Module, m, adalah rasio *pitch diameter* terhadap jumlah gigi. Ukuran ini semua untuk standar SI diukur dalam satuan milimeter. Dalam definisi yang lain, *module* adalah ukuran dari gigi dalam SI.

Addendum, a, adalah jarak radial antara *top land* dan *pitch circle*. *Dedendum b* adalah jarak radial *bottom land* ke *pitch circle*. *Whole depth h_t* adalah jumlah dari $a + b$.

Clearance circle adalah sebuah lingkaran dimana titik singgung ke lingkaran *addendum* pasangan girnya.

$$m = \frac{d}{N} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan $m = \text{module, mm}$ $d = \text{diameter pitch, mm}$
 $N = \text{banyaknya gigi}$

$$P = \frac{\pi \cdot d}{N} = \pi \cdot m \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan $p = \text{circular pitch}$

Dengan memperhatikan kedua rumus diatas, kita segera dapat memahami bahwa *module* merupakan sebuah konsep yang dibuat untuk menentukan ukuran gigi secara umum (berapa banyak jumlah gigi, ketebalan gigi dan kedalamannya). Ketika kita akan memutuskan menggunakan *gearset*, yang harus kita tentukan terlebih dahulu adalah ukuran diameter gir (diameter *pitch*) dan kemudian *module* yang hendak digunakan. Contoh penggunaannya akan penulis jabarkan pada subbab selanjutnya.

2.2.4 Sistem Gigi

Sistem gigi adalah sebuah standar yang merinci hubungan yang melibatkan *addendum*, *dedendum*, *working depth*, *tooth thickness*, sudut tekan. Suatu standar yang secara orisinil direncanakan untuk kemudahan substitusi gir dengan berapapun jumlah giginya akan tetapi pada *pitch* dan sudut tekan yang sama.

Tabel 2.5 Standar Sistem Gigi untuk Gir Jenis Spur

<i>Tooth system</i>	<i>Pressure angle Φ</i>	<i>Addendum a</i>	<i>Deddendum</i>
<i>Full depth</i>	20	1m	1.25m
			1.35m
	$22\frac{1}{2}$	1m	1.25m
			1.35m
	25	1m	1.25m
			1.35m
<i>Stub</i>	20	0.8m	1m

Sumber : Shigley and Mischke, 2001

Tabel 2.6 Modul yang Lazim Digunakan

<i>Module (mm)</i>	
<i>Prefered</i>	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
<i>Next choice</i>	1.125, 1.375, 1.75, 2.25, 2.75, 3.5, 4.5, 5.5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

Sumber : Shigley and Mischke, 2001

Tabel 2.7 Angka Minimum Gigi Pada Pinion yang Aman

<i>Pressure angle (degree)</i>	<i>Minimum number of teeth</i>
14.5	32
20	18
25	12

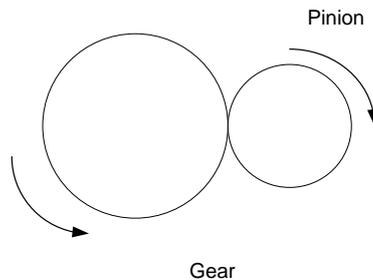
Sumber : Norton, 1997

Penggunaan tabel diatas adalah sebagai berikut. Ketika kita sudah mengetahui berapa diameter gir yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah menentukan *pressure angle* yang digunakan. Pada umumnya *pressure angle* yang digunakan adalah 20^0 . Tabel 2.2 menunjukkan nilai *pressure angle* yang lazim digunakan. Untuk sudut tekan (*pressure angle*) 20^0 , maka jumlah gigi minimum pada *pinion* adalah 18 seperti yang disarankan oleh tabel 2.4. Hal ini bertujuan menghindari *interferensi* (perpotongan gigi yang tidak sesuai), (Norton, 1999).

Oleh karena diameter *pitch* gir umumnya ditentukan terlebih dahulu, maka penggunaan *module* menyesuaikan dengan diameter gir dan jumlah gigi yang akan digunakan pada gir merujuk pada aturan jumlah minimum gigi pada pinion. Sebagai contoh diameter gir diketahui sebesar 60 mm dan *pressure angle* 20^0 , rumus *module* $m = \frac{d}{N}$ dan jumlah minimum gigi pada pinion adalah 18. Maka, *module* yang dipakai adalah 3,33 mm. Angka tersebut bukanlah angka *module* yang lazim digunakan. Maka kita merujuk pada tabel 2.3 untuk mencari angka yang lebih mendekati yaitu ukuran *module* 3 mm. Sehingga jumlah gigi yang terbentuk adalah 20. Tentunya angka ini tidak menyalahi aturan jumlah minimum 18 gigi pada pinion. Sehingga penggunaan modul sebesar 3 mm dapat diterima.

2.2.5 Geartrains

Geartrain adalah suatu susunan dua atau lebih gir yang berkaitan. Suatu *geartrain* yang sederhana adalah sebuah gir yang disusun dalam setiap poros gir seperti gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Geartrains Paling Sederhana

Sumber : Norton, 1999

Velocity ratio atau kadang disebut *train ratio* dari sebuah *gearset* didapat dari mengembangkan persamaan :

$$m_v = \frac{N_2}{N_3} \times \frac{N_3}{N_4} \times \frac{N_4}{N_5} \times \frac{N_5}{N_6} = \frac{N_2}{N_6} \dots\dots\dots(2.9)$$

Atau dalam bentuk sederhananya :

$$m_v = \pm \frac{N_{in}}{N_{out}} \dots\dots\dots(2.10)$$

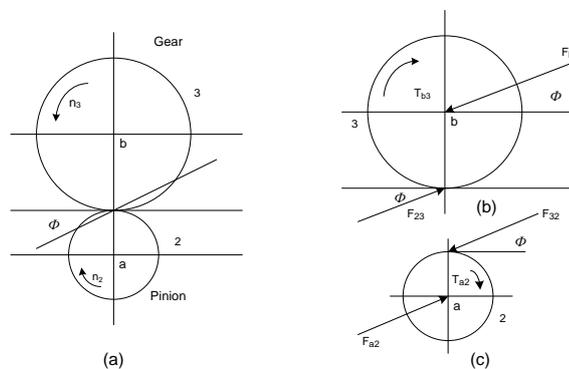
Setiap *gearset* berpotensi untuk mempengaruhi *train ratio* secara keseluruhan, akan tetapi pada susunan gir seri, hanya gir yang pertama dan terakhir saja yang berperan. *Train ratio* selalu perbandingan antara gir pertama dan terakhir. Gir yang berada antara yang pertama dan terakhir dinamakan *idler* dan fungsinya mengubah arah rotasi (atau tanda). Prinsipnya adalah, jika jumlah gir pada *geartrain* ganjil, maka arah output akan sama dengan input, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, ukuran *idler* bisa berapa saja, tanpa ia mengubah rasio gir dan rasio kecepatan.

2.2.6 Analisis Gaya

Untuk tujuan konsistensi penulisan, maka dalam tulisan ini akan ada sedikit aturan dalam penulisan notasi. Untuk gir pertama yang bersentuhan dengan mesin, maka dinyatakan sebagai gir 2, untuk selanjutnya 3, 4, dan seterusnya. Sampai membentuk suatu rangkaian gir. Kemudian, akan ada penggunaan beberapa poros. Poros akan dilambangkan dengan *subscript* huruf alphabet, a, b, c.

Dengan notasi seperti ini, maka kita dapat mulai membicarakan gaya yang dikeluarkan dari gir 2 terhadap gir 3 sebagai F_{23} . Gaya dari gir 2 terhadap poros a adalah F_{2a} . Kita juga dapat menulis F_{a2} untuk mengartikan gaya dari poros a terhadap terhadap gir 2. penting juga untuk menggunakan superscript untuk menandai arah. Koordinat arah biasanya ditandai dengan x , y , dan z , arah radial dan tangensial dengan superscript r dan t . Dengan notasi semacam ini, F_{43}^t berarti komponen gaya tangensial gir 4 terhadap gir 3.

Gambar 2.18 memperlihatkan sebuah *pinion* yang ditempatkan pada poros a berotasi searah jarum jam pada n_2 rev/s dan menggerakkan sebuah gir pada poros b dengan kecepatan n_3 rev/s. Reaksi antara gigi yang bersinggungan terjadi sepanjang garis tekan. Pada gambar 2.18(b) pinion dipisahkan dari gir dan poros, dan efek yang terjadi digantikan dengan gaya. F_{a2} dan T_{a2} adalah gaya dan torsi, dikeluarkan oleh poros a terhadap pinion 2. F_{32} adalah gaya yang dilepaskan oleh gir 3 terhadap pinion. Menggunakan pendekatan yang sama, kita mendapatkan diagram benda bebas gir yang diperlihatkan oleh gambar 2.18(c).



Gambar 2.18 Diagram Benda Bebas Gaya dan Momen pada Susunan Dua Gir yang Sederhana

Sumber : Shigley and Mischke, 2001

Pada gambar 2.19, diagram benda bebas pinion digambar ulang dan gaya-gaya yang terlibat dipecah menjadi komponen tangensial dan radial. Sekarang dapat dijelaskan :

$$W_t = F_{32}^t \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan : W_t = gaya tangensial

Sebagai beban yang dipindahkan, beban tangensial ini merupakan komponen yang sangat berguna, karena komponen radial F_{32}^r tidak memberikan fungsi apapun. Karena ia tidak meneruskan daya. Torsi yang dikerjakan dan beban yang dipindahkan dapat dilihat hubungannya dari persamaan berikut :

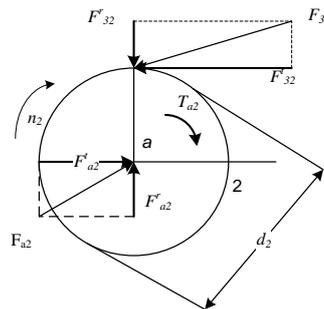
$$T = \frac{d}{2} W_t \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan : d = diameter gir, (mm)

W_t = gaya tangensial, Newton (N)

T = torsi, (Nm)

Dimana dianggap $T = T_{a2}$ dan $d = d_2$ untuk menghasilkan hubungan umum.



Gambar 2.19 Resolusi Gaya pada Gir
 Sumber : Shigley and Mischke, 2001

Jika kemudian kita menotasikan kecepatan pitch sebagai V , dimana :

$$V = \frac{\pi}{1000} \frac{dn}{1000} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Sehingga daya yang dikeluarkan :

$$P = W_t V \dots\dots\dots(2.14)$$

$$W_t = \frac{P(10)^3}{\pi d n} \dots\dots\dots(2.15)$$

- Dengan W_t = perpindahan beban, (kN)
 P = daya, (kW)
 d = diameter gir, (mm)
 n = kecepatan, putaran/detik

2.2.7 Transfer Daya

Daya P dalam suatu sistem mekanik didefinisikan sebagai perkalian skalar antara vektor gaya F dengan vektor kecepatan V di semua titik.

$$P = F \cdot V = F_x V_x + F_y V_y \dots\dots\dots(2.16)$$

Untuk sistem rotasi, daya P didapat dari hasil kali antara torsi T dan kecepatan sudutnya ω .

$$P = T\omega \dots\dots\dots(2.17)$$

- Dengan P = daya, Watt (W)
 T = torsi, (Nm)
 ω = kecepatan sudut, putaran/detik

Kemudian kita notasikan T_{in} dan ω_{in} sebagai input torsi dan kecepatan sudut input. Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{in} &= T_{in} \omega_{in} \\ P_{out} &= T_{out} \omega_{out} \end{aligned} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{in} \\ T_{out} \omega_{out} &= T_{in} \omega_{in} \dots\dots\dots(2.19) \\ \frac{T_{out}}{T_{in}} &= \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} \end{aligned}$$

$$\frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \rightarrow \frac{(s/t)_{in}}{(s/t)_{out}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \rightarrow \frac{s_{in}}{s_{out}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \dots\dots\dots(2.19a)$$

- Dengan s = panjang busur, (mm)
 d = diameter lingkaran gir, (mm)

$t =$ waktu, detik (s)

Rasio torsi adalah ($m_T = T_{out} / T_{in}$) adalah kebalikan dari rasio kecepatan sudut. *Mechanical advantage* (m_A) didefinisikan :

$$m_A = \frac{F_{out}}{F_{in}} \dots\dots\dots(2. 20)$$

Dengan $m_A =$ tidak berdimensi
 $F =$ gaya, Newton (N)

Dengan mengasumsikan bahwa gaya input dan output diaplikasikan pada radius r_{in} dan r_{out} , perpotongan vektor gaya menjadi :

$$\begin{aligned} F_{out} &= \frac{T_{out}}{r_{out}} \\ F_{in} &= \frac{T_{in}}{r_{in}} \end{aligned} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan 2.20 dengan 2.21 didapat :

$$m_A = \left(\frac{T_{out}}{T_{in}} \right) \left(\frac{r_{in}}{r_{out}} \right) \dots\dots\dots(2.22)$$

Substitusi persamaan ini dengan persamaan 2.19 didapatkan hasil :

$$m_A = \left(\frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} \right) \left(\frac{r_{in}}{r_{out}} \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

2.2.8 Tegangan (Stress)

Konsep Stress atau tegangan dalam mekanika diartikan sebagai besarnya beban atau gaya yang dibebankan per luas suatu objek yang dibebani gaya. Dan secara umum ditulis dalam notasi matematis sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.24)$$

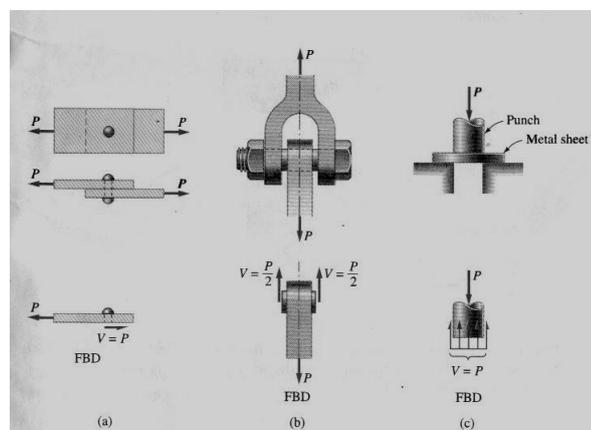
Dengan $P =$ pressure / gaya tekan dalam Newton, (N)
 $A =$ satuan luas yang dikenakan gaya, (m^2)

Selain itu, ada beberapa jenis komponen tegangan yang penting :

- P : komponen gaya yang sejajar potongan objek, dinamakan juga gaya normal.
- V : komponen gaya yang tegak lurus objek dan cenderung untuk menggeser objek. Dinamakan juga sebagai gaya geser.
- T : komponen resultan pasangan gaya yang cenderung memuntir objek disebut juga torsi.
- M : komponen gaya berpasangan yang cenderung membengkokkan objek disebut juga *momen bending*.

2.2.9 Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Berdasarkan definisi, tegangan normal P bekerja sepanjang tegak lurus permukaan objek. Sementara itu tegangan geser bekerja secara tangensial pada permukaan objek. Pada gambar 2.20 dibawah ini diberi contoh gaya geser dan bagaimana bekerjanya. Pada gambar 2.20(a) ditunjukkan dua plat yang disambungkan dengan *rivet*. Sebagaimana yang terlihat pada gambar *rivet* menanggung gaya geser $V = P$. Karena hanya satu potongan *rivet* yang menahan gaya geser, maka *rivet* itu mengalami *single shear*. Baut pada *clevis* pada gambar 2.20(b) menahan beban P sepanjang dua potongan luas bidang, gaya geser menjadi $V = P/2$ pada setiap luas bidang potong. Sehingga baut dalam keadaan *double shear* (tegangan geser ganda).



Gambar 2.20 Contoh Tegangan Geser Langsung

Sumber : Pytel and Kiusalass, 2003

Penghitungan tegangan geser biasanya kompleks dan tidak mudah ditentukan. Secara prakteknya selalu diasumsikan bahwa gaya geser V terdistribusi secara seragam sepanjang area geser A sehingga tegangan geser menjadi :

$$\tau = \frac{V}{A} \dots\dots\dots(2.25)$$

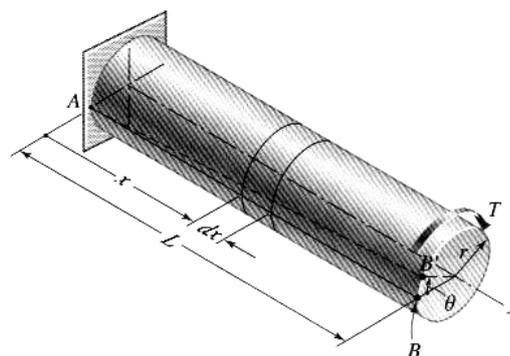
Dengan τ = tegangan geser, Pascal (Pa)

V = gaya geser, Newton (N)

2.2.10 Tegangan Torsi

Pada gambar 2.21 ditunjukkan *deformasi* sebuah poros silinder yang mengalami pasangan gaya puntir (torsi T). Untuk menggambarkan deformasi yang terjadi, maka dibuat potongan pada garis AB pada permukaan poros sebelum dibebani torsi. Setelah diberi beban torsi, garis tadi akan terdeformasi menjadi *helix* AB' sebagai ujung bebas poros yang berputar melalui sudut θ . Selama deformasi, potongan tadi tetap datar, dan radius r tidak berubah. Maka untuk itu diperlukan beberapa asumsi sebagai berikut :

- Potongan lingkaran tetap datar dan tegak lurus sumbu poros.
- Potongan tidak berubah bentuk.
- Jarak antara potongan tidak berubah.



Gambar 2.21 Deformasi pada Poros Silinder yang Diakibatkan Torsi. Garis lurus AB terdeformasi Menjadi

Sumber : Pytel and Kiusalass, 2003

Deformasi yang dihasilkan oleh asumsi diatas relatif sederhana : *setiap potongan bidang potong berputar sebagai benda kaku (rigid) terhadap sumbu poros.*

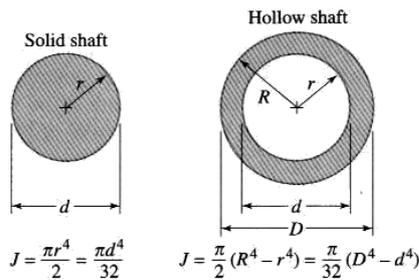
Tegangan geser yang bekerja pada jarak ρ dari pusat poros adalah :

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \dots\dots\dots(2.26)$$

Tegangan geser maksimum didapat dengan mengganti ρ dengan r poros :

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan $T =$ torsi, (Nm)
 $J =$ momen polar, (L^4 , dalam satuan panjang apapun)
 $r =$ jari-jari silinder, (mm)



Gambar 2.22 Momen Polar dari Penampang Lingkaran
 Sumber : Pytel and Kiusalass, 2003

Pada poros silinder, ada dua kondisi khusus dimana rumus ini berlaku, yaitu padat dan berongga :

Poros padat : $\tau_{\max} = \frac{2T}{\pi r^3} = \frac{16T}{\pi d^3} \dots\dots\dots(2.28)$

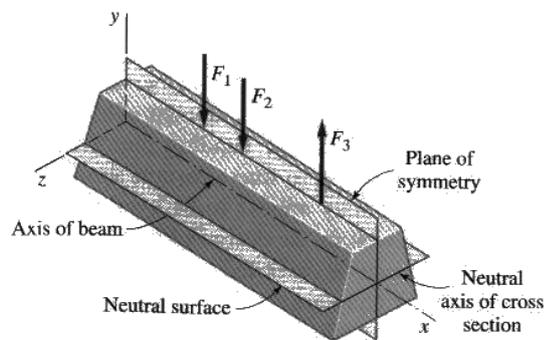
Poros berongga : $\tau_{\max} = \frac{2TR}{\pi(R^3 - r^3)} = \frac{16TD}{\pi(D^3 - d^3)} \dots\dots\dots(2.29)$

2.2.11 Tegangan Tekuk (Bending Stress)

Tegangan yang diakibatkan momen bending dinamakan tegangan tekuk atau tegangan *flexure*. Hubungan antara tegangan-tegangan ini dan momen

bending dinamakan *flexure formula*. Dalam menurunkan persamaannya maka diperlukan asumsi-asumsi sebagai berikut :

- Balok memiliki sumbu bidang datar yang simetri yang digambarkan sebagai bidang datar xy sebagaimana gambar 2.23.
- Pembebanan (sebagaimana F_1 , dan seterusnya seperti gambar) terletak pada bidang simetri dan tegak lurus sumbu balok (sumbu x).
- Sumbu balok membengkok, tetapi tidak meregang.
- Potongan bidang datar balok tetap sumbu datar dan tegak lurus sumbu balok yang terdeformasi.



Gambar 2.23 Balok Simetri dengan Beban Terhampar pada Bidang Simetri

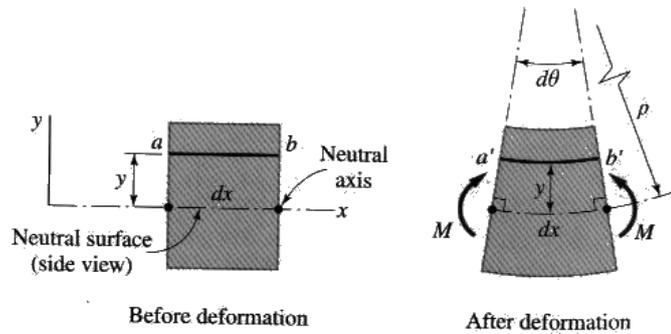
Sumber : Pytel and Kiusalass, 2003

Karena tegangan geser disebabkan gaya geser vertikal akan mendistorsi bidang asli, maka pembahasannya akan dibatasi pada deformasi yang disebabkan momen *bending* saja. Asumsi yang telah disebutkan diatas menuntun kita untuk mengikuti kesimpulan berikut : *setiap bidang potong (cross section) balok berotasi sebagai benda yang kaku (rigid) terhadap garis yang dinamakan sumbu netral dari potongan*. Sumbu netral menembus sumbu balok dan tegak lurus bidang simetri sebagaimana pada gambar 2.23.

Pada gambar 2.23 menunjukkan segmen sebuah balok yang terikat oleh dua potongan yang dipisahkan oleh jarak infinitif dx . Karena momen *bending* M yang disebabkan oleh beban, potongan tersebut berotasi relatif satu sama lain sebanyak $d\theta$. Momen *bending* diasumsikan positif sesuai dengan konvensi pada

gambar sebelumnya. Konsisten dengan asumsi untuk deformasi, bidang potong tidak terdistorsi dalam bentuk apapun.

Karena bidang potong diasumsikan tetap tegak lurus terhadap sumbu balok, permukaan netral menjadi bengkok karena deformasi sebagaimana pada gambar. Jari-jari kurva permukaan yang terdeformasi dinotasikan dengan ρ . Perhatikan bahwa jarak antara bidang potong, yang diukur sepanjang permukaan netral, tetap tidak berubah pada dx (ini diasumsikan bahwa sumbu balok tidak mengubah panjang). Sehingga serat melintang yang terdapat pada permukaan netral tidak terdeformasi, dimana serat di atas permukaan mengalami *tekan* dan dibawah *meregang*.



Gambar 2.24 Contoh Deformasi yang Terjadi dari Segmen Balok
 Sumber : Pytel dan Kiusalass, 2003

Momen *bending* yang positif mengakibatkan tegangan (kompresi) negatif diatas sumbu netral, dan tegangan positif (tensile) dibawah sumbu netral, sebagaimana yang telah dibahas.

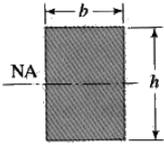
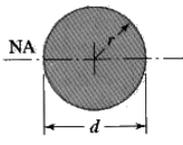
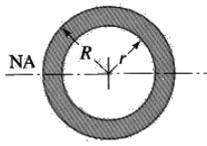
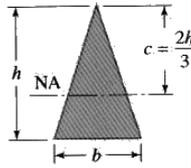
Nilai tegangan bending maksimum tanpa menghiraukan tanda diberikan oleh persamaan berikut :

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|c}{I} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana c adalah jarak dari sumbu netral pada titik terjauh bidang potong. Sebagaimana pada gambar 2.24. Persamaan ini ditulis dengan :

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{S} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana $S = I / c$ dinamakan dengan *section modulus* balok. Dimensi S adalah L^3 , sehingga satuannya adalah m^3 , atau mm^3 dan seterusnya.

<p>Rectangle</p>  $S = \frac{bh^2}{6}$	<p>Solid circle</p>  $S = \frac{\pi r^3}{4} = \frac{\pi d^3}{32}$
<p>Tube</p>  $S = \frac{\pi}{4R} (R^4 - r^4)$	<p>Triangle</p>  $S = \frac{bh^2}{24}$

Gambar 2.25 Section Moduli Bidang Potong Sederhana

Sumber : Pytel dan Kiusalass, 2003

2.3 Penelitian dan Desain Alat Pengangkat Galon Sebelumnya

Pada subbab ini, penulis akan menampilkan beberapa desain yang telah dirancang yang memiliki fungsi sebagai alat bantu pengangkat galon ke dispenser. Penulis agak kesulitan untuk menemukan topik desain semacam ini karena sepanjang penelusuran penulis di internet dan pustaka, penulis hanya menemukan dua desain saja yang sesuai dengan fungsi mengangkat galon ke dispenser. Berikut ini adalah desain alat pengangkat galon hasil penelusuran penulis.

2.3.1 Trolon (Katrol Galon)

Desain yang penulis angkat pada subbab ini adalah desain alat pengangkat galon level kompetisi ilmiah yang dibuat oleh seorang siswi SMA Stella Ducee 1 Yogyakarta bernama Olivia Sugiharto. Penulis memperoleh informasi ini dari harian Kedaulatan Rakyat 23 Januari 2010. Dengan mengadopsi prinsip kerja katrol yang selama ini sudah banyak diaplikasikan sebagai alat pengangkat dan

pemindah benda-benda berat, Olivia membuat Trolon yang berukuran 50 cm x 45 cm x 180 cm dengan standar ukuran dispenser dan penyangga berukuran 31 cm x 37 cm x 102 cm. Berikut ini penulis tampilkan gambar alat hasil desain Olivia.



Gambar 2.26 Trolon yang sedang dipamerkan

Sumber : Kedaulatan Rakyat 23 Januari 2010

2.3.2 Mesin Dispenser Integral

Prinsip kerja alat ini yaitu memompa air menggunakan pompa listrik yang ada pada dispenser dan memasukkannya ke tangki penyimpanan untuk tangki pendingin maupun pemanas pada dispenser.

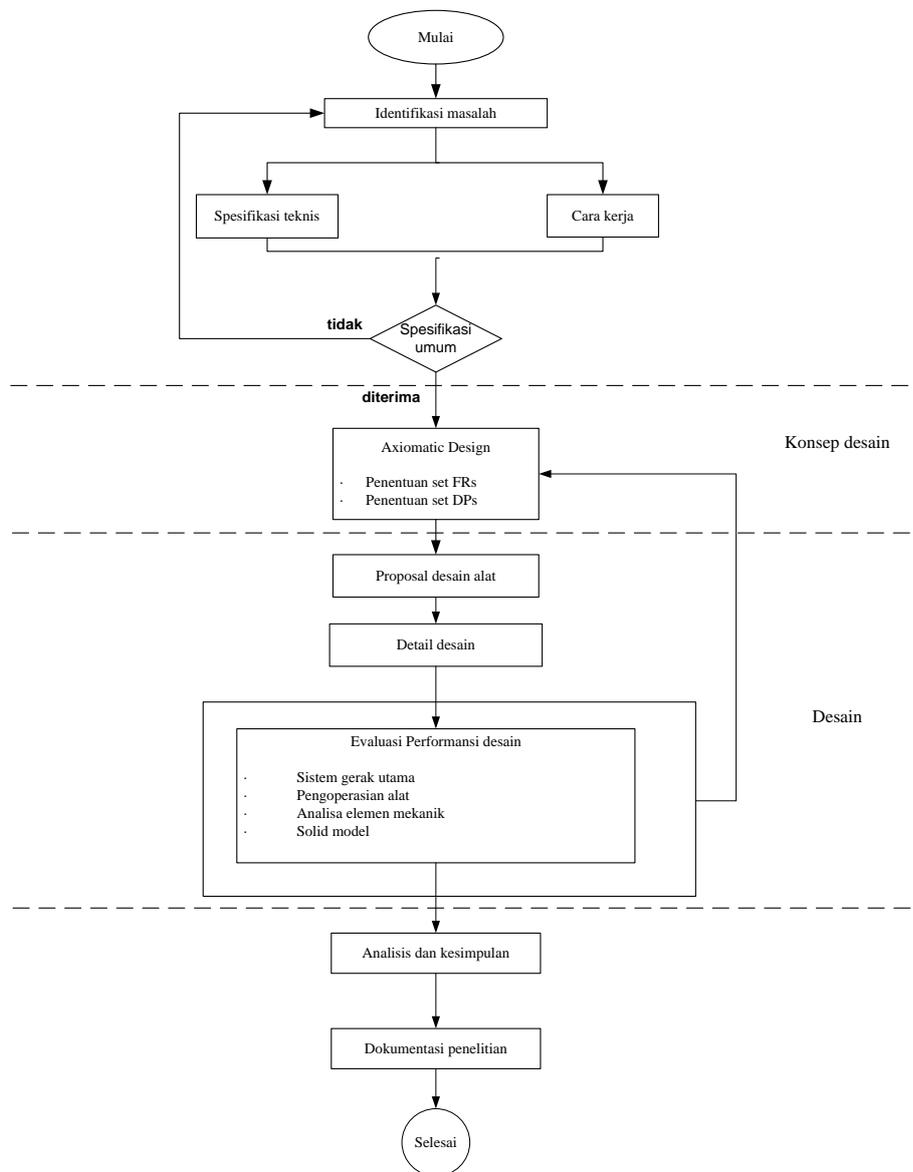


Gambar 2.27 Mesin Dispenser Integral

Alat ini secara integral, menyatukan fungsi dispenser dan pompa pada satu alat. Bobot total alat ini adalah 55 lbs atau setara dengan 25 Kg dan harga jual yang dilansir per unit alat ini di Kanada adalah \$349,95 atau setara dengan Rp 3.254.535. dengan kurs 1 dolar = Rp. 9300. penulis memperoleh data ini dari internet melalui portal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian terdiri dari langkah-langkah yang sistematis sehingga mempermudah dalam proses kerja dan berpikir. Dalam sebuah penelitian dibutuhkan sebuah metode untuk memperkecil kesalahan dalam pengambilan keputusan. Berikut adalah metodologi penelitian yang digunakan :



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Tahap demi tahap pada diagram alir pembahasan diatas akan dijelaskan pada bab berikut ini :

3.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap awal penelitian ini, dipaparkan latar belakang masalah penulisan tugas akhir. Disamping itu, pengamatan peneliti terhadap permasalahan yang timbul selama penelitian dicatat dan didokumentasikan sebagai data mentah untuk proses perancangan produk. Beberapa atribut dari objek yang diteliti akan dipecah menjadi dua bagian.

3.1.1 Spesifikasi Teknis

Untuk memperoleh konsep desain produk pengangkat galon, maka spesifikasi teknis objek (dalam hal ini dispenser dan galon air mineral sebagai objek penelitian) harus diketahui. Spesifikasi teknis di sini adalah berat, dimensi yang dibutuhkan seperti tinggi, lebar, volume dan semua atribut geometri yang dirasa perlu.

3.1.2 Cara Kerja

Cara kerja yang dimaksud adalah sistem gerak benda. Karena paling tidak akan ada gerak translasi linear secara vertikal pada proses pengangkatan galon dan juga gerak radial pada insersi galon ke dispenser, maka konsep rancangan haruslah memuat dua sistem gerak tersebut.

3.2 Axiomatic Design

Metode aksioma akan menjadi metode konsep yang digunakan pada penelitian ini. Metode ini secara sederhana terdiri dari dua aksioma utama :

Aksioma 1 : *the independence axiom*

Alternatif pernyataan 1: sebuah desain yang ideal selalu menjaga independensi FR (*functional requirements*).

Alternatif pernyataan 2: dalam sebuah desain yang diterima, DPs (*design parameters*) dan FRs berhubungan seperti DP yang spesifik dapat disesuaikan untuk memenuhi korespondensinya dengan FR tanpa berefek pada FR yang lain.

Aksioma 2 : *the information axiom*

Alternatif pernyataan : desain terbaik adalah secara fungsional desain yang tidak berpasangan yang berisi seminimum mungkin informasi.

Metode aksioma menuntut adanya kesesuaian antara FR (kebutuhan fungsi) dengan pemecahan desain fisik untuk memenuhi FR tersebut. Pada tahap ini, semua fungsi yang teridentifikasi dan menjadi tujuan desain harus dipecahkan secara terpisah (independen) pada domain fisiknya yang disimbolkan DPs.

3.3 Proposal Desain

Setelah mendapatkan karakter desain pada tahap konsep, pengembangan rancangan seterusnya mengacu pada hirarki FRs dan DPs yang terbentuk.

3.4 Detail Desain

Sampai tahap ini, proses tugas akhir sudah pada tahap pengolahan data. Perhitungan gaya benda, penentuan komponen mekanis yang digunakan, serta pembentukan solid model dengan bantuan CAD, menjadi kerangka utamanya. Keseluruhan detail rancangan akan dipaparkan pada lembar gambar teknis. Mulai dari komponen penyusun, sampai detail ukuran dan bentuk.

3.5 Evaluasi Performansi Desain

Performance artinya produk harus dapat menjalankan fungsi yang telah ditetapkan dari awal, yaitu suatu produk yang berfungsi mengangkat galon sampai dispenser dan meletakkannya sesuai dengan posisi yang dikehendaki.

Pada fase ini penulis membaginya ke dalam empat fase :

1. Sistem Gerak Utama

ada tiga sistem gerak utama.

- Pertama adalah fase *pre-inserts*. Yaitu pada saat galon belum akan dimasukkan ke dispenser. Gaya berat yang ditimbulkan dispenser dan rangka atas menjadi pertimbangan desain gir untuk merancang torsi yang pas.
- Kedua adalah fase *inserti*, yaitu pada saat galon siap dimasukkan ke dispenser.
- Ketiga adalah fase *liftng*, yaitu mengangkat struktur atas ke posisi yang dikehendaki pengguna.

2. Pengoperasian Alat

Setelah fungsi gerak terpenuhi, perancangan kemudian diarahkan untuk memastikan secara teori mampu dioperasikan oleh pengguna. Detailnya antara lain, berapa gaya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan alat.

3. Analisa Elemen Mekanik

Setelah alat secara teori dapat berfungsi (dioperasikan), maka perancangan dilanjutkan dengan mencari karakteristik mekanik dari desain. Tahap ini juga nantinya akan menentukan material apa yang dianggap layak dipakai. Contohnya untuk beban geser yang mengakibatkan tegangan geser sebesar 150 Mpa, maka poros tidak dapat dibuat dari besi cor kelabu karena tidak dapat menerima beban diagonal. Dan beberapa karakteristik mekanika lainnya.

4. Solid Model

setelah ketiga fase diatas telah dilakukan, maka yang dilakukan selanjutnya adalah memodelkan rancangan dengan bantuan CAD. Penggunaan CAD memberikan kemudahan dalam memodelkan, karena rancangan cukup di gambar sesuai ukuran pada rancangan yang sudah dibuat, kemudian di render ke dalam bentuk *solid*. Tentunya kalau ada kesalahan dapat segera diperbaiki tanpa harus ada konsekuensi biaya dan material terbuang.

3.6 Analisis dan Kesimpulan

Setelah melakukan proses pengolahan data, maka pada tahap berikutnya hasil olah data diinterpretasikan pada bab V berupa analisa dan interpretasi hasil. Kemudian dirangkum pada bab berikutnya berupa kesimpulan.

3.7 Dokumentasi penelitian

Setelah semua proses perancangan mencapai tahap akhir, maka tugas berikutnya adalah pendokumentasian hasil penelitian. Mulai dari gambar teknik, konsep, sampai perhitungan teknisnya dikumpulkan dalam satu bentuk laporan ilmiah tugas akhir.

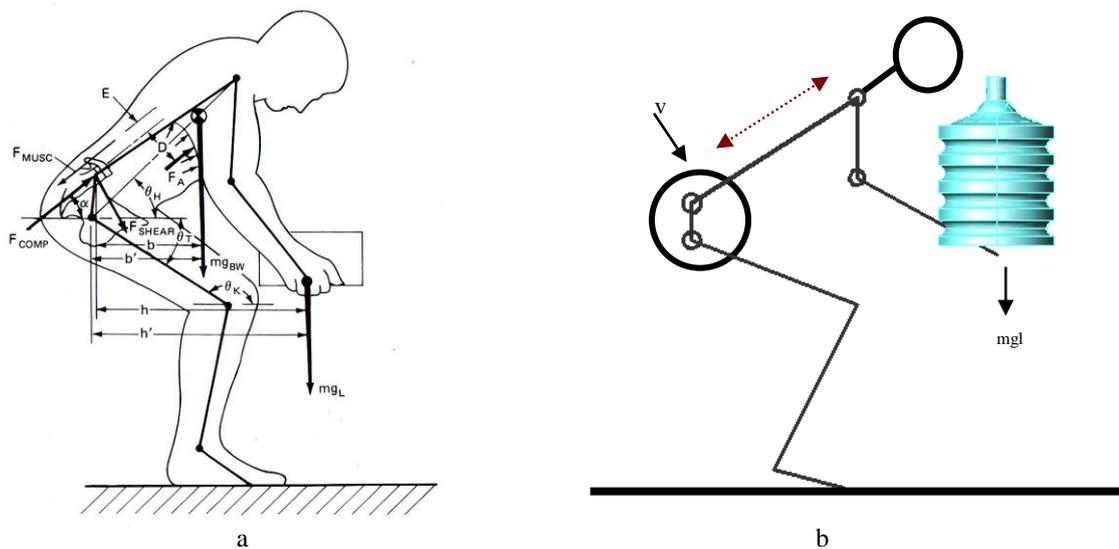
3.8 Selesai

Proses dokumentasi selesai dan siap untuk dipertanggungjawabkan secara ilmiah pada seminar hasil.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Identifikasi Masalah

Sebelum memasuki penentuan spesifikasi alat dan tahap desain, maka terlebih dahulu didahului identifikasi permasalahan. Untuk memahami persoalan dalam proses *loading* dan *unloading* galon ke pot dispenser, kita bisa melihatnya diawal proses pengangkatan. Gambar 4.1 berikut ini memodelkan postur tubuh seseorang ketika akan mengangkat, sebagaimana yang dimodelkan pada buku *Human Factors in Engineering and Design* (Sanders dan McCormick 1999). Skema gaya yang ditimbulkan pada tulang belakang seperti gambar 4.1(a) di bawah ini, merupakan model usulan Chaffin dkk.



Gambar 4.1

(a) Skema Elemen Gaya pada Tubuh Manusia (b) Insert : Gaya Geser pada L5/S1
Ketika Melakukan Proses mengangkat

Sumber : Sanders & McCormick, 1993

Ketika seseorang dengan berat tubuh bagian atas (dinotasikan sebagai W_{torso} (mg_{BW})), mengangkat beban dengan berat dinotasikan sebagai W_{load} (pada

gambar dinotasikan dengan mg), beban dan torso bagian atas membentuk kombinasi momen putar searah jarum jam yang dibentuk oleh persamaan :

$$M_{\text{load to torso}} = W_{\text{load}} \times h + W_{\text{torso}} \times b$$

Dengan :

h adalah jarak horizontal dari beban ke cakram L5/S1

b adalah jarak horizontal dari pusat massa torso ke cakram L5/S1

Momen putar searah jarum jam ini harus mendapatkan reaksi momen yang sama besar, namun berbeda arah dan tandanya. Momen ini dihasilkan oleh otot belakang dengan jarak *lengan* momen kira-kira sebesar 5 cm, sehingga :

$$M_{\text{back muscle}} = F_{\text{back muscle}} \times 5 \text{ cm}$$

Sesuai dengan kondisi kesetimbangan momen, maka :

$$\Sigma(\text{momen pada L5/S1}) = 0$$

$$F_{\text{muscle}} \times 5 = W_{\text{load}} \times h + W_{\text{torso}} \times b$$

$$F_{\text{muscle}} = W_{\text{load}} \times h / 5 + W_{\text{torso}} \times b / 5$$

Sebagai contoh, jika kita menentukan bahwa besarnya masing-masing h dan b adalah 40 cm dan 20 cm (Sanders and McCormick, 1999), maka gaya reaksi yang harus diberikan oleh otot belakang adalah :

$$F_{\text{muscle}} = W_{\text{load}} \times 8 + W_{\text{torso}} \times 4$$

Karena berat beban (galon) adalah 19 kg, dan dengan mengasumsikan berat torso atas adalah 25 kg (mengasumsikan berat torso $\frac{1}{2}$ berat tubuh total, jadi contoh disini seseorang dengan berat tubuh 50 Kg), maka gaya yang dikeluarkan oleh otot belakang adalah :

$$F_{\text{muscle}} = ((19 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2) \times 8) + ((25 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2) \times 4)$$

$$F_{\text{muscle}} = 2520 \text{ N}$$

Yang perlu menjadi pertimbangan pula bagi besarnya tegangan pada otot, adalah gaya tekan pada cakram L5/S1 yang dapat diperkirakan besarnya berdasarkan prinsip kesetimbangan gaya pada L5/S1

$$\Sigma(\text{forces pada L5/S1}) = 0$$

Sehingga, kita dapat menemukan gaya tekan pada otot belakang :

$$F_{\text{compression}} = W_{\text{load}} \times \cos \alpha + W_{\text{torso}} \times \cos \alpha + F_{\text{muscle}}$$

Anggap besarnya sudut yang dibentuk adalah pada posisi tegangan maksimum, yaitu 45^0

$$\begin{aligned} F_{\text{compression}} &= 190\text{N} \times \cos 45^0 + 250\text{N} \times \cos 45 + 2520\text{N} \\ F_{\text{compression}} &= 134,35 + 176,77 + 2520 = 2831\text{N} \end{aligned}$$

Dengan besarnya gaya tekan yang dialami punggung bagian bawah (spesifiknya pada suatu cakram antara *lumbar ke-5* dan *sacral vertebrae ke-1* atau L5/S1), proses mengangkat galon seperti ini tentunya hanya bisa dilakukan orang dewasa yang normal (dalam arti normal kondisi fisik dan sehat). Proses mengangkat galon yang tidak sesuai, menjadi kegiatan yang beresiko menimbulkan cedera pada punggung. Oleh karena itu, dirasa perlu ada alat yang berfungsi mengangkat galon ke dispenser.

4.1.1 Spesifikasi Teknis

Galon yang dipasarkan secara komersil di Indonesia adalah galon dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

Tinggi	: ± 44 cm
Lebar	: 30 cm
Diameter lubang	: 4 cm
Volume	: 19 liter

Karena massa jenis air adalah $1 \text{ kg} / 1 \text{ dm}^3$ atau dalam satuan lain $1 \text{ kg} / 1 \text{ liter}$, maka berat galon yang terisi 19 liter air adalah setara dengan 19 kg. Untuk spesifikasi teknis dispenser, karena tidak adanya perbedaan kelas standar yang

dikeluarkan *vendor* dan bobot yang relatif sangat ringan dibandingkan galon, juga bentuk geometrisnya yang sederhana (biasanya hanya berbentuk kotak), maka penulis memberi batasan ukuran dispenser yang memenuhi *range of use* alat sebagai berikut :

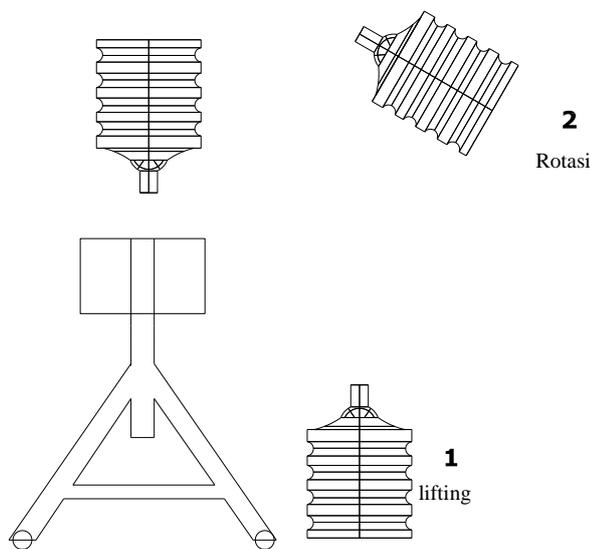
Tinggi (minimal – maksimal)	: 50 – 70 cm
Lebar (minimal – maksimal)	: 30 – 45 cm
Berat maksimal	: 4 kg



Gambar 4.2. Contoh Dispenser yang Umum Digunakan

4.1.2 Cara Kerja

Dengan mengamati cara kerja manual yang biasa dilakukan ketika memasang galon ke dispenser, maka kita dapat memahami, terdapat dua gerakan utama yang dibutuhkan pada proses loading galon ke dispenser. Pertama yaitu gerakan mengangkat galon sampai ketinggian yang sesuai dengan tinggi dispenser. Kedua gerakan memutar, untuk mengubah posisi mulut galon yang tadinya menghadap ke atas, diputar 180^0 agar dapat dimasukkan ke lubang dispenser, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Skema Perpindahan Galon ke Dispenser

Untuk meringankan proses kerja mengangkat dan memutar, maka harus dicarikan cara dengan menerapkan prinsip mekanika, agar dapat dilakukan dengan gaya yang kecil. Maka pada tahap konsep akan disesuaikan dengan kerja yang diharapkan. Dua elemen gerak utama tersebut memerlukan gaya yang besar untuk dilakukan secara manual. Sehingga haruslah dicari cara yang meringankan kerja yang dilakukan sehingga fungsi alat bantu terpenuhi.

4.2 Sintesa Konsep dan Teknis *Axiomatic Design*

Pada bab dua, telah dibahas beberapa teknik dan prosedur pemunculan ide. Tetapi dalam penelitian ini, *Axiomatic Design* mendapatkan porsi yang terbesar. *Axiomatic design* terdiri dari dua aksioma utama yaitu :

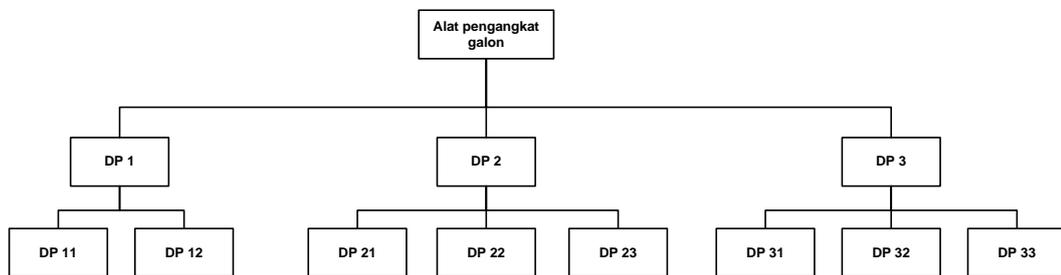
1. Independensi fungsi.
2. Minimasi konten informasi desain.

Aksioma pertama yaitu *independence axiom* menyatakan bahwa setiap fungsi atau FR sebisa mungkin diselesaikan secara terpisah dari FR yang lain dengan DP yang terpisah pula. Pada pengembangan alat pengangkat galon ini, ada tiga fungsi utama yang harus dipenuhi dan masing-masing sebisa mungkin diselesaikan secara terpisah sesuai dengan prinsip *independence axiom*. Pada

pengamatan cara kerja mengangkat galon secara manual di subbab 4.1.2, kita dapat menangkap fungsi apa saja yang harus dipenuhi. Pertama adalah gerakan rotasi, kemudian gerakan translasi ke atas (*lifting*) dan selanjutnya fungsi struktur penopang. Ketiga fungsi tadi harus di-*dekomposisi* lagi untuk memperjelas tujuan desain yang hendak dicapai. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas, maka pada gambar 4.4 dan 4.5 dijelaskan struktur hirarki penyusun fungsi dan design parameter sebagai solusi FRs-nya.



Gambar 4.4 Hirarki FRs untuk Fungsi Alat Pengangkat Galon.



Gambar 4.5 Hirarki DPs Untuk Desain Fisik Alat Pengangkat Galon.

Berikut ini adalah keterangan kedua gambar di atas :

FR₁ = menahan sistem berat galon, dispenser dan rangka.

FR₁₁ = kemampuan mobilitas.

FR₁₂ = membentuk struktur rangka penahan.

FR₂ = mengangkat galon dan dispenser

FR₂₁ = menahan sistem galon dan dispenser tidak jatuh

FR₂₂ = memperbesar torsi

FR₂₃ = menahan gerak balik sistem galon dan dispenser, ketika gaya tekan tuas dihilangkan.

FR₃ = memutar galon dan dispenser

FR₃₁ = menahan galon pada posisi insersi

FR₃₂ = memperbesar torsi

FR₃₃ = menahan gerak balik rangka atas saat gaya tuas dihilangkan

Untuk memenuhi aksioma pertama, maka sebisa mungkin setiap FR di atas diselesaikan dengan hanya satu DP agar tetap menjaga independensi fungsi dan menjadikannya *uncoupled design*. Untuk itu penulis menyelesaikan FRs diatas dengan DPs sebagai berikut :

DP₁ = unit struktur penahan

DP₁₁ = roda swivel

DP₁₂ = struktur rangka

DP₂ = lifting unit

DP₂₁ = clamp

DP₂₂ = gearset

DP₂₃ = ratchet

DP₃ = rotating unit

DP₃₁ = hook

DP₃₂ = gearset

DP₃₃ = ratchet

Pada F₁₂, fungsi dari F₁₂ dapat juga didefinisikan sebagai :

$$F_{12} = A DP_{12}$$

$$\sigma = A f(I, F, C)$$

Artinya agar desain berfungsi, fokus permasalahan harus mencari solusi besaran *I*, *F*, *C* yang sesuai. *I* adalah momen inersia bidang potong balok, *F* adalah gaya yang diterima oleh balok penopang dan *C* adalah centroid dari bidang potong.

Pada F_{22} , fungsi dari F_{22} dapat juga didefinisikan sebagai :

$$F_{22} = A DP_{22}$$

$$Torsi = A f(DP)$$

$$T_{out} = f\left(T_{in} \times \frac{d_{out}}{d_{in}}\right)$$

Artinya agar desain berfungsi, kita harus fokus untuk mencari T_{out} dan T_{in} yang dibutuhkan begitu nilai tersebut diketahui, maka rasio d_{out} dan d_{in} dapat disesuaikan.

Pada F_{32} , fungsi dari F_{32} dapat juga didefinisikan sebagai :

$$F_{32} = A DP_{32}$$

$$Torsi = A f(DP)$$

$$T_{out} = f\left(T_{in} \times \frac{d_{out}}{d_{in}}\right)$$

Artinya agar desain berfungsi, kita harus fokus untuk mencari T_{out} dan T_{in} yang dibutuhkan begitu nilai tersebut diketahui, maka rasio d_{out} dan d_{in} dapat disesuaikan.

Persamaan desain (*design matrix*) dari korespondensi DPs di atas terhadap FRs adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{|c|} \hline FR_1 \\ \hline FR_2 \\ \hline FR_3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|ccc|} \hline X & 0 & 0 \\ \hline 0 & X & 0 \\ \hline 0 & 0 & X \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline DP_1 \\ \hline DP_2 \\ \hline DP_3 \\ \hline \end{array}$$

Bentuk *design matrix* di atas adalah diagonal sebagai syarat desain yang *uncoupled*. Pada *design matrix* di atas, FR_1 diselesaikan secara terpisah dari FRs lainnya dan solusinya diselesaikan oleh DP_1 . Begitu pula fungsi FR yang lain diselesaikan secara koresponden pada domain fisik (*physical domain*).

Level hirarki persamaan desain dibawahnya harus mengikuti persamaan di atas. Korespondensi level hirarki pada sub-fungsi adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{c}
\left| \begin{array}{c} \text{FR}_{11} \\ \text{FR}_{12} \\ \text{FR}_{13} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \text{DP}_{11} \\ \text{DP}_{12} \\ \text{DP}_{13} \end{array} \right| \\
\\
\left| \begin{array}{c} \text{FR}_{21} \\ \text{FR}_{22} \\ \text{FR}_{23} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \text{DP}_{21} \\ \text{DP}_{22} \\ \text{DP}_{23} \end{array} \right| \\
\\
\left| \begin{array}{c} \text{FR}_{31} \\ \text{FR}_{32} \\ \text{FR}_{33} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \text{DP}_{31} \\ \text{DP}_{32} \\ \text{DP}_{33} \end{array} \right|
\end{array}$$

4.3 Proposal Desain Alat

Konsep *Axiomatic Design* memberikan tuntunan yang jelas dan urutan logika yang sederhana untuk mendapatkan konsep desain berdasarkan apa dan bagaimana fungsi alat yang hendak dicapai. Pada *axiomatic design* konten informasi solusi desain tidak selalu dapat ditampilkan secara detail karena proses kreatif dan *know-how* seorang desainer seringkali terjadi secara spontan (Otero, Rick 7). Subbab selanjutnya mencoba memberikan gambaran detail pengembangan desain yang penulis rancang.

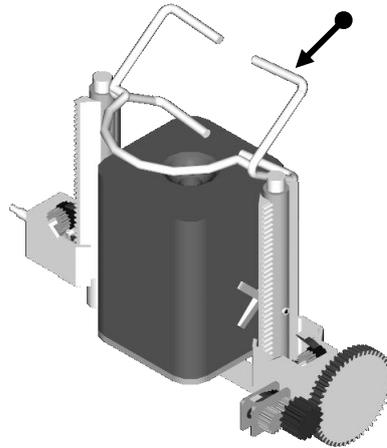
4.3.1 Detail Desain

Design matrix rancangan, yang penulis ajukan sebagai alat pengangkat galon telah disebutkan pada subbab 4.2, namun hanya memberikan informasi mengenai garis besar konsep rancangan. Oleh karena itu pada subbab ini, akan ditampilkan detail rancangan alat sebagai tahap lanjut dari konsep.

4.3.2 Struktur Atas

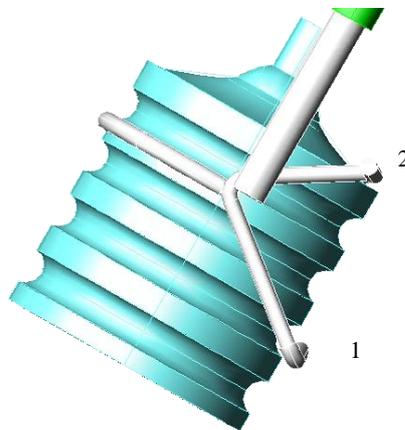
Sebagai permulaan, maka subbab ini akan dimulai dengan penjabaran detail desain struktur atas alat pengangkat galon. Detail desainnya diperlihatkan pada gambar di bawah ini.

A. *Upper Support Unit*



Gambar 4.6 Desain Alat. Posisi unit Ditunjukkan oleh Anak Panah

Fungsi komponen ini adalah “memegang“ galon. Untuk tujuan itu galon akan di tahan pada dua titik tumpu beratnya sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.7. Pertama pada badan galon dimana terdapat pusat massa. Kedua pada leher galon sebagai penahan gaya momen galon sebagai reaksinya ditahan pada pusat massa galon.



Gambar 4.7 Posisi Kontak Hook pada Galon

Pada gambar 4.8, tampak batang besi dibengkokkan membentuk busur setengah lingkaran dengan jari-jari 15 cm. Busur besi ini dilas sehingga menyatu dengan dua lengan lainnya. Diameter besi yang dipakai adalah 2 cm sebagaimana yang ada pada gambar 4.8. Busur ini berfungsi sebagai struktur rangka atas, yang memberikan gaya reaksi dari gaya tekan pada saat objek diangkat naik (*lifting*).

Bagian lain yang ada pada *hook* adalah lengan bawah yang terlihat pada gambar sebagai lengan atas. Akan tetapi ketika proses memutar, posisinya berada pada bagian bawah galon, sedikit dibawah pusat massa galon. Lengan bawah ini menggunakan besi dengan diameter 1,8 cm. Panjangnya dari lengan utama adalah 20,5 cm. Kemudian kawat dibengkokkan dengan ukuran jari-jari 1cm.

Lengan atas berfungsi untuk menahan berat galon di titik leher galon. material yang digunakan identik dengan yang dipakai lengan bawah. Panjangnya diukur dari lengan utama 16,3 cm dan membentuk sudut sebesar 70° terhadap lengan bawah sebagaimana terlihat pada gambar 4.8.

Lengan utama menggunakan besi pipa dengan diameter luar 4 cm. Besi pipa dipilih karena kekuatannya sesuai dengan kebutuhan dan bobotnya yang relatif ringan dibandingkan baja. Panjang lengan utama yang bekerja sebagai penopang galon saat rotasi adalah 30 cm. Masih ada 10 cm yang tertanam pada *slider tube*. Untuk kepentingan pengelasan dua lengan pengait dan busur, maka disediakan besi sepanjang 5,5 cm sebagai titik penyambungan. Sambungan ini yang kemudian di tempatkan pada lengan utama dengan dibaut. Tujuan penggabungannya dengan dibaut adalah mempermudah proses perakitan alat.

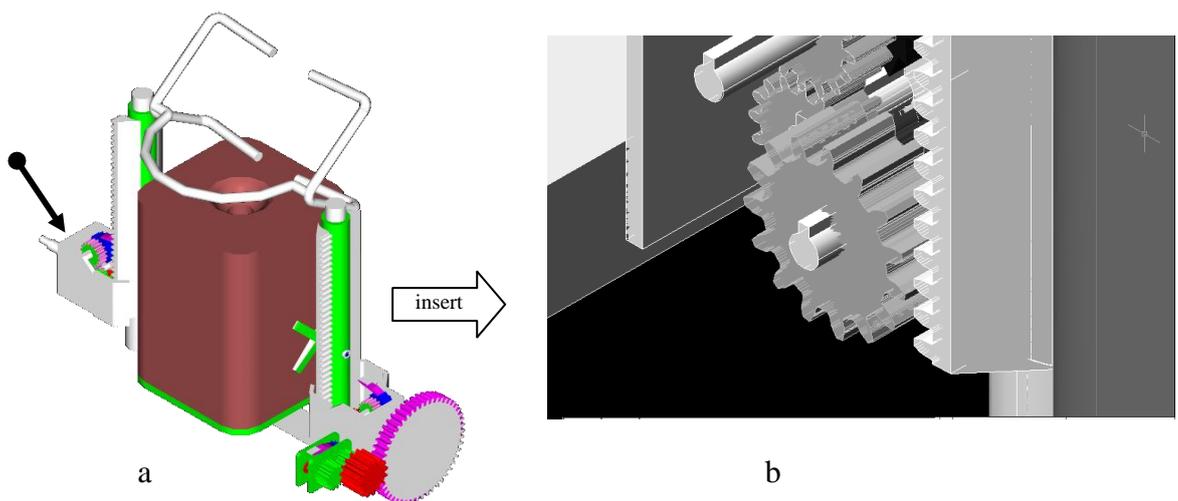
Komponen berikutnya adalah *slider tube* atau tabung luncur, gambarnya ditunjukkan pada gambar 4.9. Fungsinya yaitu sebagai tabung tempat lengan utama meluncur ke bawah ketika lengan utama dan galon pada posisi atas dan mendapat resultan gaya gravitasi. Tabung luncur ini juga merupakan struktur atas yang berfungsi menahan gaya berat galon dan dispenser.

Pada struktur atas ini juga terdapat *spider clamp* ditampilkan pada gambar 4.9. Disebut *spider clamp* karena bentuknya mirip dengan kaki laba-laba, dan fungsinya adalah menahan galon pada tempatnya ketika ia harus berotasi bersama struktur atas. Tepi *spider clamp* dibuat dari karet yang memiliki sifat *adhesive* terhadap plastik polymer yang merupakan bahan utama bodi dispenser. Dengan sifat seperti itu dan dikencangkan dengan *adjustment bolt*, maka dispenser tidak akan tergelincir ke bawah pada saat dispenser mengalami gaya gravitasi pada posisi *pre-insersi* galon. Untuk menyesuaikan jarak *spider clamp* dengan dispenser, maka *spider clamp* disambungkan dengan *adjustment bolt* (baut

penyesuai). Caranya hanya cukup memutar kepala baut menggunakan obeng sampai *clamp* menahan dispenser dengan cukup kuat. Jarak maksimal penyesuaian didesain sebesar adalah 6 cm untuk mengakomodasi lebar dispenser maksimal yang dapat dipasang sebesar 45 cm.

B. *Lifting* unit

Unit ini berfungsi sebagai pengangkat galon dan dispenser pada posisi normal. Prinsip yang digunakan adalah konsep *geartrain* dengan tujuan memperbesar torsi output. Pada gambar 4.10 dibawah ini, posisi *lifting* unit terletak pada ujung tanda panah.



Gambar 4.10
(a) Posisi *Lifting Unit* pada Alat (b) Insert Gambar Potongan menunjukkan Posisi Gir dan Rack

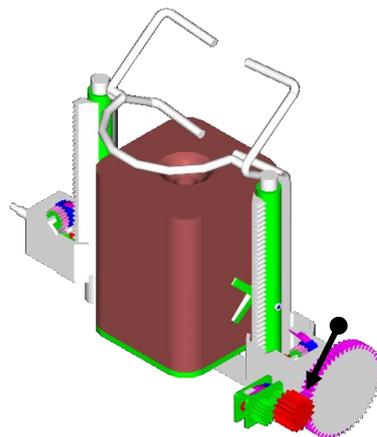
Detail desainnya dijelaskan pada gambar 4.11. Pada unit *lifting* ini, *geartrain* disusun dari empat buah gir yang disusun secara bertingkat. Gir yang melakukan kontak dengan *rack* menggunakan diameter *pitch* 60 mm dan menggunakan modul 4 mm. Gir lain yang berfungsi sebagai *idler* (penerus daya) menggunakan modul 2,5 mm.

Bodi gearbox terbuat dari plat besi setebal 8 mm dengan tujuan mampu menahan beban yang besar. Untuk mendapatkan profil seperti pada detail gambar

4.11, plat besi digabungkan dengan las. *Rack* berfungsi sebagai layaknya gir yaitu meneruskan gerak rotasi dari pinion. Akan tetapi ia memiliki perbedaan dari gir. Perbedaannya adalah ia meneruskan arah gerak rotasi menjadi translasi (garis lurus). Arah vertikal atau horizontal didapat dengan mengubah-ubah cara memasang *rack*. Karena fungsi yang diinginkan adalah vertikal, maka *rack* dipasang pada posisi vertikal. Gigi *rack* berupa trapezoid dan sudut “ aksi “ 20^0 serupa dengan pasangan gir-nya. Sehingga gigi pada gir tidak akan saling berpotongan (*interference*) pada *rack*.

C. *Rotating Unit*

Unit ini berfungsi sebagai pemutar galon dan gambarnya ditunjukkan oleh gambar 4.12. Untuk menjalankan fungsinya meringankan kerja operator, maka *geartrain* didesain sebagaimana yang bisa dilihat pada gambar 4.13. Prinsipnya adalah, rasio gir ditujukan untuk meningkatkan torsi output. *Pinion house* dikencangkan pada frame bagian atas dengan menggunakan baut. Pada tepinya terdapat baut yang berfungsi untuk menempatkan tuas pemutar. Ratio gir yang dipakai adalah 1: 5.



Gambar 4.12 Posisi Rotating Unit pada Model Alat

Gir utama berhubungan dengan *support unit* melalui poros utama. Poros yang digunakan adalah poros dengan diameter 15 mm. Pada saat *pre-insersi*, struktur atas yang sudah dipasang dispenser, diputar sebesar 150^0 supaya *hook* berada pada posisi galon yang akan diangkat. Proses ini dilakukan dengan

menempatkan tuas pada baut pemutar yang terletak disamping kiri *pinion house* dan kemudian menggerakkan tuas ke arah atas. Ketika *hook* sudah mencapai posisi kontaknya masing-masing, kunci harus dipasang pada *rachet*. Kemudian tuas ditekan ke bawah supaya gerak struktur atas dan galon naik ke atas. Tujuan memasang kunci adalah, ketika operator menghilangkan gaya pada tuas, maka gaya gravitasi yang membuat gerak struktur atas untuk cenderung memutar gir ke arah sebaliknya ditahan oleh roda *rachet*. Sehingga tangan operator tidak bekerja ganda (menekan tuas untuk menaikkan struktur atas, dan menahan tuas pada saat yang bersamaan untuk bergerak sebaliknya). Putaran untuk *insersi* ini sama besarnya dengan *pre-insersi* yaitu 150° tetapi dengan arah putaran yang berlawanan.

4.3.3 Struktur bawah

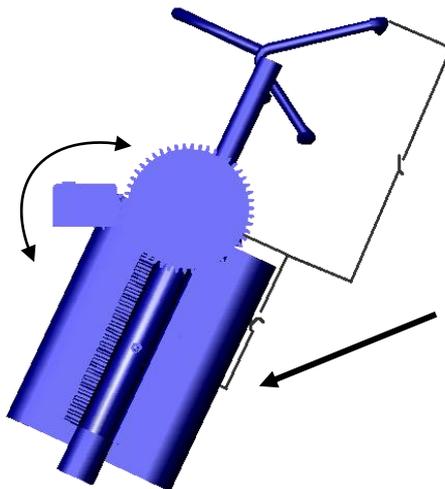
Bagian ini merupakan elemen struktur, yang didesain untuk mendukung gaya berat utama dari *upper structure*, galon dan dispenser, serta elemen unkit dan rotasi. Profilnya diperlihatkan pada gambar 4.14. Untuk membentuk profilnya, struktur ini dibuat dari balok aluminium profil U yang disusun dalam konsep rangka. Tujuan penerapan struktur rangka tentu saja pertimbangan teknis dan penghematan bahan. Untuk menghubungkannya dengan balok lain, maka dipakai baut. Penggunaan baut relatif lebih mudah dan murah dibandingkan dengan las. Dan juga memungkinkan struktur untuk diperbaiki dan penggantian seandainya terjadi kerusakan. Pada bagian bawah diberi tambahan *swivel Wheel* atau roda yang bersendi pada sumbu simetrisnya. Penambahan roda untuk mendapatkan fungsi desain yaitu *portable* sehingga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memindahkan alat seandainya diperlukan.

4.4 Sistem Gerak Utama

Pada subbab ini, beberapa prinsip mekanika dan fisika yang menjadi konsep desain akan dibahas selengkapnya. Untuk tujuan itu, maka penulis membaginya pada beberapa pembahasan subbab berikut ini.

4.4.1 *Pre-Insertion*

Sebagaimana diperagakan gambar 4.15, maka gaya yang dibutuhkan untuk memutar dispenser adalah gaya untuk mengimbangi momen yang dihasilkan oleh gaya berat dispenser dan rangka. Seandainya berat maksimum dispenser dan struktur atas dianggap sebesar 7 kg, maka gaya berat yang dihasilkan adalah hasil kali massa benda dan percepatan gravitasi. Sehingga :



Gambar 4.15 Skema *Pre-Inserti*

$$F_w = m \cdot g$$

$$F_w = 7 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 68,6 \text{ N.}$$

momen yang dihasilkan sistem benda adalah hasil kali gaya dan jarak tegak lurus gaya terhadap titik rotasi. Jarak r adalah 30 cm atau 0.3 m dalam satuan meter, sehingga :

$$\begin{aligned}
T_{\max} &= F \cdot r \\
&= 68,6 \times 30 \text{ cm} \\
&= 20,58 \text{ Nm}
\end{aligned}$$

Karena tujuannya adalah untuk memutar sistem ini (memberikan reaksi yang lebih dari 20,58 Nm), maka harus dicari torsi yang ditimbulkan pada *pinion*. Untuk mendapatkannya, kita dapat menggunakan persamaan gir yang sudah dibahas pada bab 2.

$$\begin{aligned}
P_{out} &= P_{in} \\
T_{out} \omega_{out} &= T_{in} \omega_{in} \dots\dots\dots(2.19) \\
\frac{T_{out}}{T_{in}} &= \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}}
\end{aligned}$$

Persamaan ini bila diteruskan akan menjadi :

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} = \frac{\omega_{in}}{\omega_{out}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \dots\dots\dots(2.19 a)$$

Karena memanfaatkan hubungan terbalik antara kecepatan sudut dengan diameter gir, persamaan tersebut akhirnya menjadi :

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \dots\dots\dots(2.19 a)$$

$$\frac{20,58 \text{ Nm}}{T_{in}} = \frac{20 \text{ cm}}{4 \text{ cm}}$$

$$T_{in} = 4,116 \text{ Nm}$$

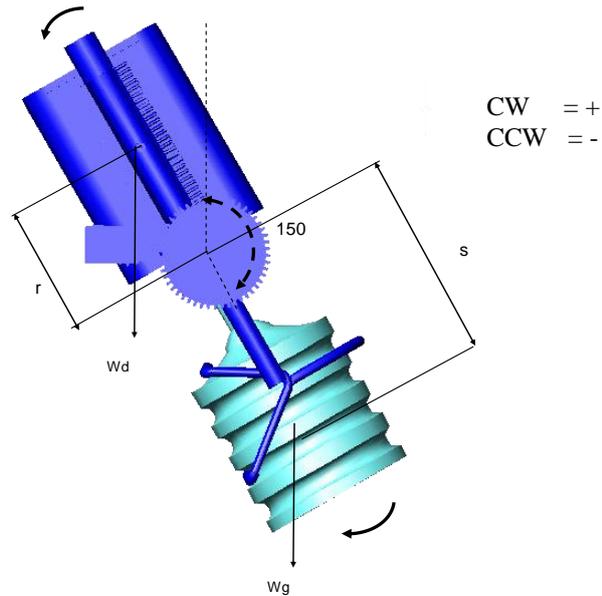
Untuk menghasilkan torsi akhir 20,58 Nm, maka pada *pinion* harus diberi input torsi sebesar 4,116 Nm. Tuas penggerak yang digunakan memiliki dimensi panjang 60 cm. Untuk mendapatkan momen (torsi) sebesar 4,116 Nm, maka gaya yang diberikan adalah :

$$\begin{aligned}
T &= F.l \\
4,116 \text{ Nm} &= F \times 60 \text{ cm} \\
F &= 6,86 \text{ N}
\end{aligned}$$

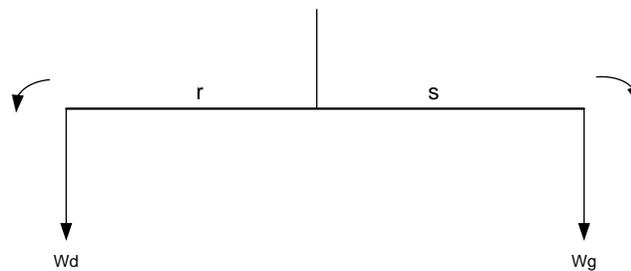
Gaya yang harus diberikan oleh tangan operator untuk mengoperasikan tuas adalah 6,86 N.

4.4.2 Insertion

Proses *insertion* digambarkan pada gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16 Skema Alat pada Saat *Inseri*



Gambar 4.17 *Free-Body Diagram* Alat Saat *Inseri*

Pada diagram tersebut, gaya berat yang ditimbulkan oleh galon dan dispenser memunculkan momen *kopel* (pasangan gaya) yang saling berlawanan arah. Besarnya s adalah 50 cm dan r adalah 21 cm. Besar momen yang terbentuk adalah sebagai berikut :

$$M = W_g \cdot s - W_d \cdot r$$

$$M = ((19 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 50 \text{ cm}) - ((7 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 21 \text{ cm})$$

$$M = 93,1 \text{ Nm} - 14,41 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{max}} = 78,7 \text{ Nm (+)}$$

Kembali kita pergunakan persamaan 2.19 untuk mencari reaksi torsi pada pinion :

$$\frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{in}}} = \frac{d_{\text{out}}}{d_{\text{in}}}$$

$$\frac{78,7}{T_{\text{in}}} = \frac{20}{4}$$

$$T_{\text{in}} = 15,74 \text{ Nm}$$

Gaya yang harus dikerjakan tangan operator pada tuas penggerak untuk mendapatkan momen (torsi) sebesar 15,74 Nm adalah.

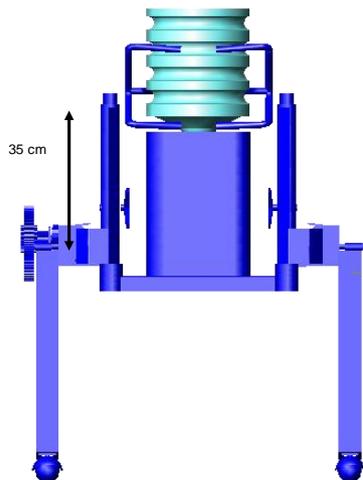
$$T = F \times l$$

$$15,74 = F \times 60 \text{ cm}$$

$$F_{\text{max}} = 26,2 \text{ N}$$

4.4.3 *Lifting*

Diagram alat pada saat proses *lifting* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.18. Posisi Struktur Atas pada *Lifting*

$$\begin{aligned}\Sigma F_w &= W_g + (W_d + W_s) \\ \Sigma F_w &= 19 \times 9,8 + (7 \times 9,8) \\ \Sigma F_w &= 254,8 \text{ N}\end{aligned}$$

Dengan F_w = gaya berat, Newton (N)
 W_g = gaya berat galon, Newton (N)
 W_d = gaya berat dispenser, Newton (N)
 W_s = gaya berat struktur atas, Newton (N)

Untuk mendapatkan besarnya torsi pada gir, maka kita harus merujuk pada persamaan 2.12

$$T = \frac{d}{2} W_t \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan d = diameter gir yang kontak dengan *rack*

$$T = \frac{6}{2} 258,4$$

$$T = 7,8 \text{ Nm}$$

Torsi pada gir yang bersentuhan dengan *rack* adalah 7,8 Nm. Untuk melakukan kerja *lifting*, maka pinion harus memberikan input torsi sebagai reaksinya. Torsi yang harus dikeluarkan *pinion* dicari dengan persamaan 2.19(a) .

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} = \frac{d_{out}}{d_{in}}$$

$$\frac{7,8 \text{ Nm}}{T_{in}} = \frac{6}{4}$$

$$T_{in} = 5,2 \text{ Nm}$$

Gaya yang harus dikerjakan tangan operator pada tuas untuk menimbulkan torsi sebesar 5,2 Nm adalah :

$$T = F.l$$

$$5,2 \text{ Nm} = F \times 60$$

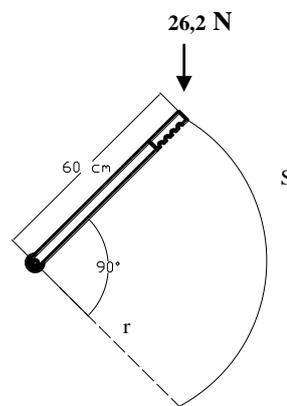
$$F_{max} = 8,6 \text{ N}$$

4.5 Pengoperasian Alat

Untuk memahami energi yang dikeluarkan operator ketika mengoperasikan alat ini, pembahasannya dapat dipecah dalam dua fase gerak yaitu *rotating*, dan *lifiting*.

4.5.1 Rotating

Pada gerak *rotating*, gerakan tuas kira-kira akan seperti gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4.19 Skema Pergerakan Tuas ketika Ditekan

Gerakan maksimum tuas adalah sekitar 90^0 . Panjang lintasan busur yang terbentuk dapat dicari dengan rumus sudut lingkaran :

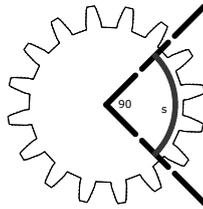
$$\theta_{rad} = \frac{s}{r}$$

$$r \times 90^0 \text{ rad} = s$$

$$60 \text{ cm} \times 1,57 = s$$

$$s = 94,2 \text{ cm}$$

Pada saat tuas digerakkan sebesar 90^0 , gerakan tersebut juga terjadi pada pinion dengan besar sudut yang sama.



Gambar 4.20 Rotasi pada Pinion

Sumber : Shigley, Joseph E. dan Charles R. Mischke, 2001

Karena diameter pinion pada *lifting unit* adalah sebesar 4 cm sehingga jari-jarinya sebesar 2 cm, jarak yang ditempuh gir pinion pada gerakan tersebut adalah

$$s = 1,57 \times 2 \text{ cm}$$

$$s = 3,14 \text{ cm}$$

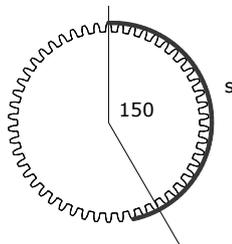
Pada turunan persamaan 2.19, kita sudah melihat hubungan torsi, kecepatan, dan diameter gir. Persamaan tersebut dapat kita kembangkan lagi menjadi persamaan berikut.

$$\frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} = \frac{d_{in}}{d_{out}} \rightarrow \frac{(s/t)_{out}}{(s/t)_{in}} = \frac{d_{in}}{d_{out}} \rightarrow \frac{s_{out}}{s_{in}} = \frac{d_{in}}{d_{out}} \dots\dots\dots(2.19a)$$

$$\frac{s_{out}}{3,14 \text{ cm}} = \frac{4}{20}$$

$$s_{out} = 0,628 \text{ cm}$$

Seperti sudah diutarakan pada konsep bahwa struktur atas diputar sebesar 150° , Skema putaran gir rotasi yang berjari-jari 10 cm pada struktur atas diperlihatkan pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Putaran Gir Rotasi

Sehingga jarak tempuh putaran 150° pada gir adalah :

$$s = \theta \cdot r$$

$$s = 150 \text{ rad} \times 10 \text{ cm}$$

$$s = 2,62 \times 10 \text{ cm}$$

$$s = 26,2 \text{ cm}$$

Maksud penguraian rumus ini adalah sebagai berikut. Bila pergerakan maksimum tuas adalah 90^0 sehingga *pinion*-pun mengikuti rotasi sebesar 90^0 dan akibat rotasi 90^0 itu *pinion* bergerak sejauh 3,14 cm. Karena sistem *geartrain*, maka gir terakhir pun ikut bergerak, namun hanya sebesar 0,628 cm. Untuk mencapai posisi normal, struktur atas harus berputar sejauh 150^0 dan membentuk busur sebesar 26,2 cm. Jadi ketika operator menggerakkan tuas sebesar 90^0 maka gir hanya berputar sejauh 0,628 cm untuk menempuh total jarak 26,2 cm. Jadi untuk mencapai posisi normal, maka tuas harus digerakkan sebanyak :

$$\frac{26,2}{0,628} = 41,7 \approx 42 \text{ kali}$$

Dengan rata-rata gaya yang diberikan sebesar 26,9 N dan pergerakan tuas sebesar 94,2 cm, maka energi yang dikeluarkan oleh operator :

$$W = F \cdot s$$

$$W = 26,9 \times 0,942 \text{ m}$$

$$W = 25,3 \text{ J}$$

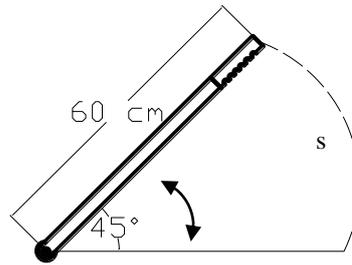
$$\Sigma W = 25,3 \times 42 \text{ (kali)}$$

$$\Sigma W = 1062,6 \text{ J} \approx 1,062 \text{ KJ} \approx 4,46 \text{ Kcal}$$

Catatan : 1 Joule = 4,2 Calori

4.5.2 *Lifting*

Setelah posisi struktur atas tegak, maka dilanjutkan mengangkat struktur atas maksimal 35 cm. Artinya boleh saja mengangkatnya sejauh 5 cm atau 10 cm atau 15 cm. Sesuai kenyamanan pengguna. Pada fase angkat ini, untuk contoh jika tuas digerakkan sebesar 45^0 , maka akan terlihat seperti gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Posisi Tuas pada saat diberi Gaya Tekan

Pada pinion dan tuas akan terjadi pergerakan sebagai berikut :

Pinion

$$\theta_{rad} = \frac{s}{r}$$

$$s = \theta_{rad} \times r \rightarrow 45 \text{ rad} \times r$$

$$s = 0.785 \times 2 \text{ cm}$$

$$s = 1,57 \text{ cm}$$

tuas

$$\theta_{rad} = \frac{s}{r}$$

$$s = \theta_{rad} \times r \rightarrow 45 \text{ rad} \times r$$

$$s = 0.785 \times 60 \text{ cm}$$

$$s = 47,1 \text{ cm}$$

Untuk mencari putaran pada gir, maka kita gunakan kembali persamaan 2.19a

$$\frac{s_{out}}{s_{in}} = \frac{d_{in}}{d_{out}}$$

$$\frac{s_{out}}{1,57} = \frac{4}{6}$$

$$s_{out} = 1,05 \text{ cm}$$

Untuk mencapai tinggi tegak maksimum 35 cm, maka tuas harus digerakkan sebanyak $35 / 1.05 \approx 33$ kali.

Dengan rata-rata gaya tekan sebesar 8,6 N (pada perhitungan subbab 4.4.3) dan pergerakan sebanyak 33 kali dari 47,1 cm, maka energi yang harus dikeluarkan operator adalah :

$$W = 8,6 \times 47,1 \text{ cm}$$

$$W = 4,05 \text{ J} \rightarrow \Sigma W = 4,05 \times 33 = 133,65 \text{ J}$$

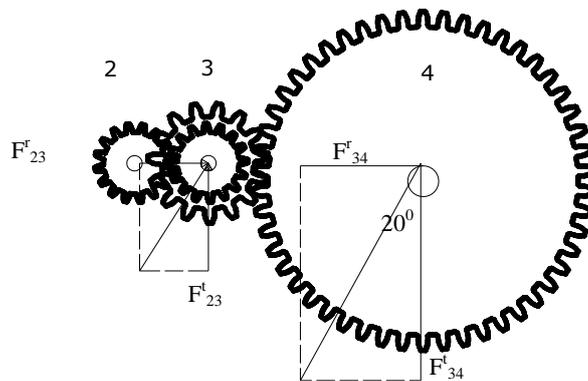
$$W = 561,33 \text{ Cal}$$

4.6 Analisa Elemen Mekanika

Pembahasan subbab ini adalah analisa elemen gaya yang ditimbulkan dari natur fisik desain. Sebagai permulaan, maka pembahasan dimulai dari pembahasan elemen gaya yang muncul pada fungsi *rotating* dan *lifitng*.

4.6.1 Elemen Gaya *Rotating Unit*

pada saat tuas diberi gaya ke bawah sebesar 26,2 N, maka pada *pinion* akan dihasilkan torsi sebesar 15,74 Nm yang telah kita dapatkan hasilnya pada subbab 4.4.2. Skema gaya yang timbul diperlihatkan pada gambar 4.23 dibawah ini.



Gambar 4.23 Skema Komponen Gaya yang Timbul pada Poros Gir

Gaya tangensial dari gir 2 ke gir 3 dinotasikan sebagai F_{23}^t dapat dicari menggunakan persamaan 2.12. selanjutnya gaya radial dapat diperoleh menggunakan hukum pythagoras.

$$T = \frac{d}{2} F \dots\dots\dots(2.12)$$

$$F = \frac{2T}{d}$$

$$F = \frac{2 \times 15,74 \text{ N}}{4}$$

$$F_{23}^t = 787 \text{ N} \qquad F_{23}^r = F_{23}^t \tan 20^\circ$$

$$\qquad \qquad \qquad F_{23}^r = 286,4 \text{ N}$$

Gaya resultannya dicari menggunakan rumus phytagoras :

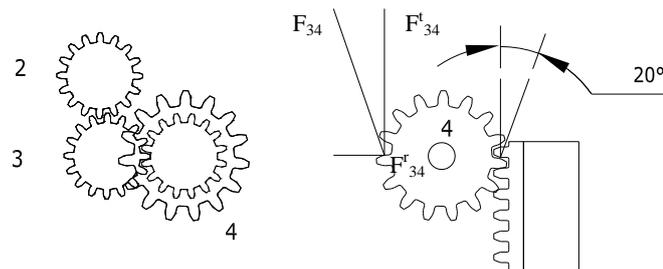
$$F_{R23} = \sqrt{(F_{23}^t)^2 + (F_{23}^r)^2}$$

$$F_{R23} = \sqrt{(787)^2 + (286,4)^2} = 838 \text{ N}$$

Selama gir 3 adalah idler (gir yang berfungsi meneruskan gaya), maka ia hanya meneruskan gaya dari gir 2 ke gir 4 sehingga gaya F_{34}^t dan F_{34}^r sama dengan F_{23}^t dan F_{23}^r . Begitu juga dengan gaya resultan F_{R34} yang mengarah ke poros, besarnya pun sama dengan F_{R23} .

4.6.2 Elemen Gaya *Lifting Unit*

Elemen gaya yang timbul pada *lifting unit* diuraikan sebagai berikut.



Gambar 4.24 Komponen Gaya pada Poros

Gaya tangensial F_{34}^t dicari dengan persamaan 2.12 serupa dengan perhitungan sebelumnya (subbab 4.6.1). Kemudian komponen gaya radialnya dicari dengan persamaan phytagoras. Besarnya torsi adalah 5,2 Nm angka yang didapat pada perhitungan di subbab 4.4.3.

$$T = \frac{d}{2} W_t$$

$$F = \frac{2T}{d} = \frac{2 \times 5,2}{4 \text{ cm}}$$

$$F_{34}^t = 260 \text{ N}$$

$$F_{34}^r = \tan 20^\circ \times F_{34}^t$$

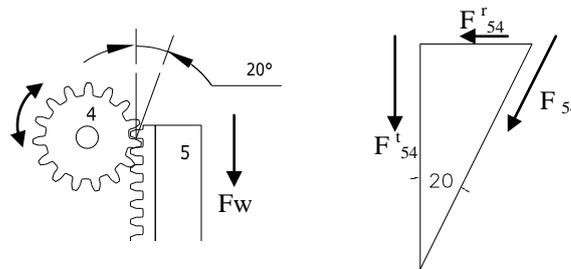
$$F_{34}^r = 94,63 \text{ N}$$

$$F_{34} = \sqrt{(260)^2 + (94,63)^2}$$

$$F_{34} = 276,68 \text{ N}$$

komponen gaya ini semua diteruskan ke poros gir.

Pada posisi gir 4 berhubungan dengan rack yang dinotasikan angka 5, maka komponen gaya-nya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.25 Komponen Gaya pada Gir dan Rack (Lifting Unit)

$$F_{54}^t = 254,8 \text{ N (gaya berat total)}$$

$$F_{54} = \cos 20^\circ \times F_{54}^t$$

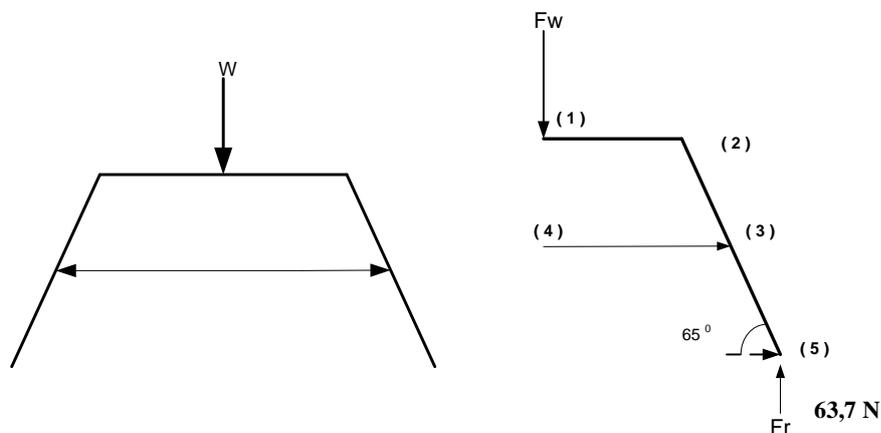
$$F_{54} = 239,4 \text{ N}$$

$$F_{54}^r = h \tan 20^\circ \times 254,8$$

$$F_{54}^r = 92,74 \text{ N}$$

4.6.3 Elemen Gaya pada Struktur Bawah (Rangka)

Struktur bawah fungsi utamanya adalah sebagai struktur penahan (penopang) struktur atas agar tetap statis dan stabil. Struktur rangka dipilih karena ia menyediakan kemudahan dalam perakitan, minimasi bahan dan bobot, serta biaya yang relatif murah. Struktur yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.14. skema elemen gaya yang ada diperlihatkan pada gambar 4.26 dibawah ini.

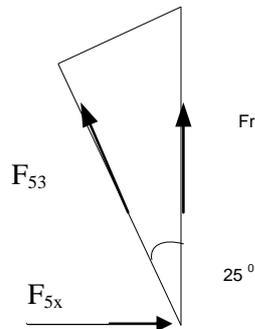


Gambar 4.26 Elemen Gaya pada Struktur Bawah

Titik 5.

Pada posisi ini, gaya yang muncul pertama kali adalah gaya reaksi Fr. Yaitu gaya reaksi dari gaya berat yang dibebankan pada rangka. Karena ada 2 kaki yang menopang struktur atas, maka gaya berat dari struktur atas sebesar 254,8 N dibagi dua antara dua kaki menjadi 127,4 N di masing-masing kaki. Kemudian karena masing-masing kaki terdiri dari dua tumpuan roda, maka gaya 127,4 N dibagi dua menjadi 63,70 N di masing-masing roda. Gaya reaksi sebesar 63,70 N inilah yang ditunjukkan oleh titik 5.

Komponen gaya-nya diperlihatkan pada gambar berikut :



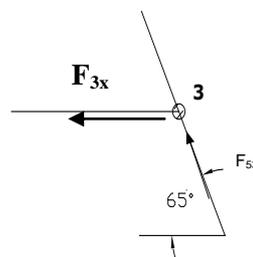
$$Fr = 63,70 \text{ N}$$

$$F_{53} = \cos 25^{\circ} \cdot Fr \\ = 57,73 \text{ N}$$

$$F_{5x} = \cos 65^{\circ} \cdot F_{53} \\ F_{5x} = 24,40 \text{ N}$$

Titik 3.

Pada titik 3, elemen gaya yang muncul adalah seperti gambar berikut ini



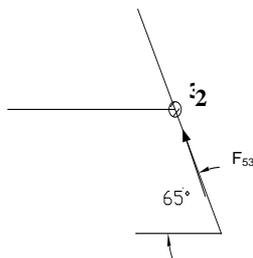
$$F_{3x} = \cos 65^{\circ} \cdot F_{53} \\ = 24,40 \text{ N}$$

Titik 4.



$$F_{4x} = F_{34} = F_{3x} = 24,40 \text{ N}$$

Titik 2.



$$F_{2x} = \cos 65 \cdot F_{32}$$

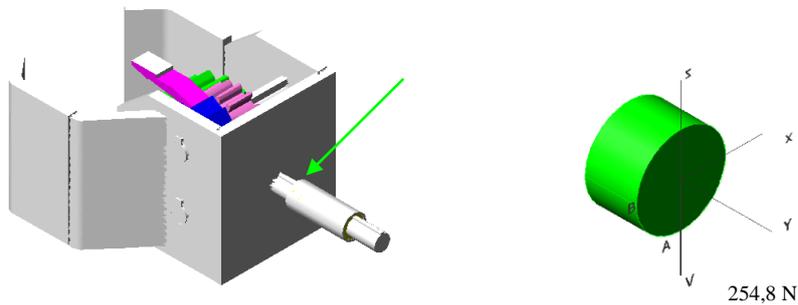
$$F_{2x} = 24,40 \text{ N}$$

4.6.4 Analisa Kekuatan Bahan

Sebagai informasi dan pertimbangan utama dalam penggunaan bahan, maka harus dipahami interaksi gaya dan tegangan yang muncul. Fase kritis ini biasanya bersinggungan dengan titik kritis ketika bahan mencapai batas kemampuannya untuk diaplikasikan terhadap suatu kerja. Sebagai contoh adalah penggunaan poros pada *clamp* dibawah ini.

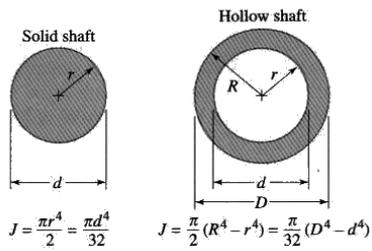
A. Poros rotasi

Ada dua elemen tegangan yang bekerja pada bidang potong poros yang diperlihatkan gambar 4.27. Yaitu tegangan geser yang disebabkan gaya tegak lurus V pada bidang potong, dan tegangan torsi akibat puntiran oleh torsi. Untuk mengetahui besarnya kedua tegangan, maka kita harus mulai menguraikan elemen tegangan sebagai berikut :



Gambar 4.27 Poros Rotasi dan Penampang Bidang Potong Poros

Karena bidang potong berbentuk silinder, maka besarnya momen polar ditentukan sesuai dengan gambar 2.24 pada bab 2 yaitu :



$$J = \frac{\pi r^4}{2} \quad \text{dan} \quad J = 2I$$

Maka :

$$J = \frac{3.14(0.75 \times 10^{-2})^4}{2}$$

$$J = 1.18 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I = J/2$$

$$I = 0.59 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Tegangan *bending* yang diakibatkan oleh gaya geser V adalah sesuai dengan persamaan 2.42

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{S} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dengan $S = I/c$, maka persamaannya menjadi

$$\sigma = \frac{M.c}{I}$$

$$\sigma = \frac{7,644 \text{ Nm} \times 0,75 \times 10^{-2} \text{ m}}{0,59 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 9,7 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 9,7 \text{ Mpa}$$

Tegangan torsi-nya yang diakibatkan oleh torsi T adalah sesuai dengan persamaan 2.27 :

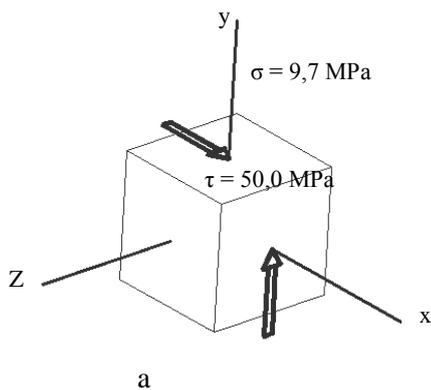
$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} \dots\dots\dots(2.27)$$

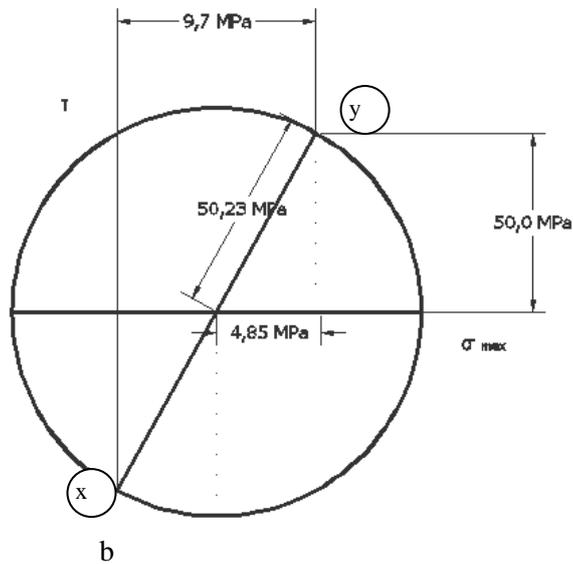
$$\tau_{\max} = \frac{78,7 \text{ Nm} \times 0,75 \times 10^{-2}}{1,18 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\tau_{\max} = 50,0 \text{ MPa}$$

Karena ada dua *stress* atau tegangan, maka digunakan prinsip lingkaran mohr untuk mencari tegangan maksimum dari kombinasi dua tegangan yang ada.

Bagian A



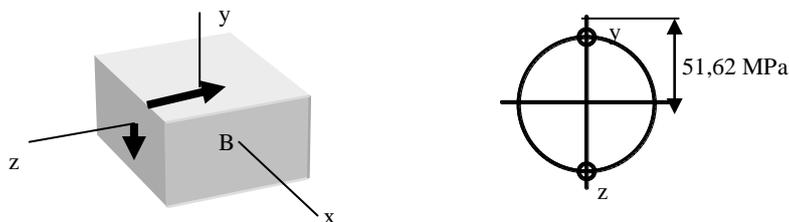


$$\sigma_{\max} = 4,85 + 50,23$$

$$\sigma_{\max} = 55,08 \text{ MPa}$$

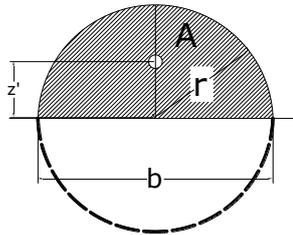
Tegangan maksimum yang terjadi pada titik A, adalah sebesar 55,08 MPa

Bagian B



Gambar 4.28 Lingkaran Mohr

Tegangan pada titik B digambarkan pada gambar 4.28. Tegangan geser akibat torsi adalah $\tau_{\max} = 50,0 \text{ MPa}$, sebagaimana perhitungan sebelumnya. Akan tetapi, karena titik berada pada sumbu netral, tegangan *bending* σ bernilai nol. Bagaimanapun juga, ada tambahan tegangan geser yang disebabkan gaya geser V . Besarnya tegangan geser adalah $\tau_V = VQ/(Ib)$, dimana $b = 2r = 1,5 \text{ cm}$. Dan Q adalah momen pertama dari separuh luas bidang potong terhadap sumbu netral.



Maka

$$Q = A \bar{z} = \left(\frac{\pi r^2}{2}\right) \left(\frac{4r}{3\pi}\right) = \frac{2r^3}{3} = 0,2815 \text{ cm}^3 \approx 0,2815 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\tau_v = \frac{VQ}{Ib} = \frac{254,8(0,2815 \times 10^{-6})}{(0,59 \times 10^{-8})(1,5 \times 10^{-2})}$$

$$\tau_v = 0,81 \text{ MPa}$$

Karena τ_T dan τ_v beraksi pada bidang yang sama dan memiliki tanda yang sama, maka ia bisa dijumlahkan. Sehingga total tegangan geser yang dialami poros adalah.

$$\tau = \tau_T + \tau_v = 50,0 + 0,81 = 50,81 \text{ MPa}$$

Lingkaran *Mohr* yang ditampilkan gambar 4.28 murni tegangan geser, sehingga tegangan normal maksimum pada titik B adalah :

$$\sigma_{\max} = 50,81 \text{ MPa}$$

Dengan kombinasi tegangan maksimum seperti ini, maka diputuskan menggunakan bahan dari baja No AISI 1030. Dengan *Su* (*ultimate strenght*) *tension* = 521 MPa, dan *shear* = 345 Mpa, maka beban tegangan maksimum diatas dapat diatasi dengan baik.

B. Poros gir

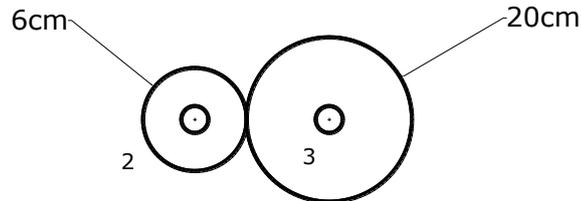
Pada *rotating unit*, torsi yang dialami oleh gigi *idler* adalah sesuai dengan persamaan 2.19

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} = \frac{d_{out}}{d_{in}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Maka :

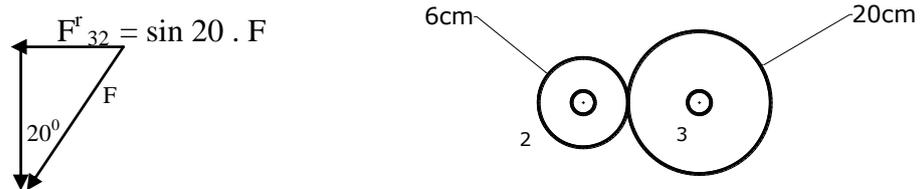
$$\frac{78,7 \text{ Nm}}{T_{in}} = \frac{20 \text{ cm}}{6 \text{ cm}}$$

$$T_{in} = 23,61 \text{ Nm}$$



Gambar 4.29 Skema Gir dan Idler pada *Rotating Unit*

Pada *idler* (gir nomor dua pada gambar), elemen gaya yang terjadi adalah :



Gambar 4.30 Elemen Gaya pada Poros Gir dan *Idler*

$$F = \frac{2T}{D} = \frac{2 \cdot 23,61}{0,06}$$

$$F = 787 \text{ N}$$

$$F_{32}^r = \sin(20^\circ) \times 787 \text{ N}$$

$$F_{32}^r = 269,2 \text{ N}$$

Karena *idler* mengalami rotasi, maka tentunya ada tegangan torsi yang timbul pada poros *idler*. Tegangan torsi yang muncul adalah sesuai dengan persamaan 2.28 :

$$\text{Poros padat : } \tau_{\max} = \frac{2T}{\pi r^3} = \frac{16T}{\pi d^3} \dots\dots\dots(2.28)$$

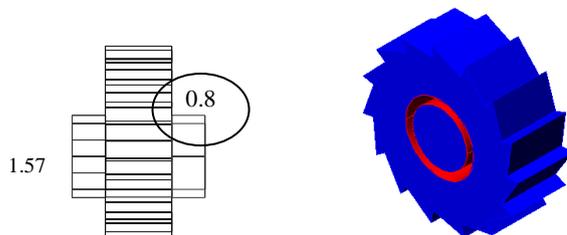
$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 23,61 \text{ Nm}}{\pi (10 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_{\max} = 120,3 \text{ MPa}$$

Tegangan torsi yang muncul pada poros *idler* adalah 120,3 MPa. Agar poros dapat menjalankan fungsinya, maka poros didesain menggunakan bahan baja AISI 1030. Baja jenis ini mampu menerima tegangan tarik sampai dengan 521 MPa dan batas tegangan luluh sampai 345 MPa.

C. Ratchet

Pada rumah brake, ratchet mengalami *double shear* seperti pada gambar 2.22b sehingga $V = P/2$ dan $V = 269,2 / 2 = 134,6$ N. Kemudian tegangan gesernya adalah sebagai berikut :



Luas masing-masing penampang bidang potong adalah.

$$A = 0,8 \text{ cm} \times 1,57 \text{ cm}$$

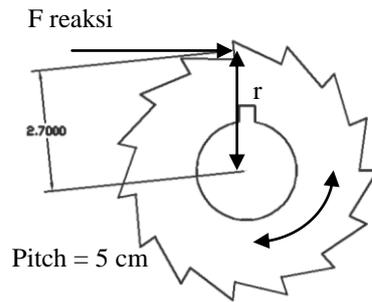
$$A = 1.256 \text{ cm}^2$$

Maka sesuai dengan persamaan 2.25, tegangan geser yang harus diterima rumah *ratchet* adalah :

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{134,6 \text{ N}}{1.256 (\times 10^{-2})^2 \text{ m}^2}$$

$$\tau = 1,07 \text{ MPa}$$

Tegangan geser ini dialami oleh plat dudukan *ratchet*, dan juga poros yang bertaut dengan plat. Pada saat roda *ratchet* ditahan (dikunci) untuk menahan gerak balik, maka ketika puncak gir-nya terjadi kontak dengan permukaan *kunci*, menimbulkan momen yang besarnya sesuai dengan gaya pada permukaan gir, dan berbanding lurus dengan jarak vertikal terhadap pusat rotasi. Skema-nya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.31 Elemen Gaya dan Gerak pada Ratchet

Torsi yang diteruskan oleh *idler*, diteruskan ke roda ratchet. Akan tetapi, karena diameter *pitch* yang lebih kecil, maka gaya yang timbul pada ujung gigi *ratchet* menjadi lebih besar, yaitu :

$$F = \frac{2T}{d} = \frac{2 \times 23,61}{0,04}$$

$$F = 1180,5 \text{ N}$$

Maka ketika *ratchet* dikunci, tegangan *bending* yang timbul adalah sesuai dengan persamaan 2.42

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{S} \dots\dots\dots(2.42)$$

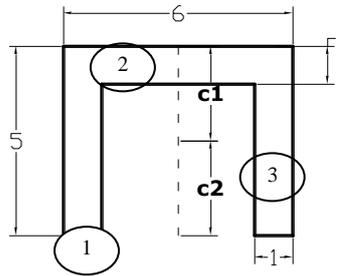
$$\sigma = \frac{|32Ma|}{\pi d^3} = \frac{|32 \times 1180,5 \times 0,027|}{\pi \times (0,04)^3}$$

$$\sigma = 5,08 \text{ MPa}$$

Tegangan sebesar ini terhitung kecil. Bahan besi tempa (*wrought iron*) masih sanggup menerima beban kerja semacam ini. Karena *Su (ultimate-strength)* besi tempa untuk tegangan geser proporsional-nya adalah 130 Mpa. Dan juga merupakan material yang relatif sangat murah daripada baja.

D. Struktur Bawah

Pada gambar 4.32 diperlihatkan bidang potong batang rangka yang dipergunakan untuk struktur bawah.



Gambar 4.32 Bentuk Bidang Potong Rangka

Untuk mengukur besarnya tegangan bending dan normal yang dialami profil rangka, maka elemen yang harus dicari terlebih dahulu adalah luas momen inersia profil.

Luas bidang potong profil diatas adalah 14cm^2 . kemudian kita membagi bidang U profil diatas menjadi dua bagian yaitu C1 dan C2. Kemudian kita menjumlahkan momen tersebut ke atas.

$$14\text{cm}^2 C_1 = (1) \cdot (4) \cdot (3) + (1) \cdot (6) \cdot (0,5) + (1) \cdot (4) \cdot (3)$$

$$14\text{cm}^2 C_1 = 27\text{cm}^3$$

$$C_1 = 1,9\text{cm}$$

$$C_2 = 5 - 1,9$$

$$= 3,1\text{cm}.$$

Kemudian kita menghitung luas bidang momen masing-masing persegi

$$I_1 = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \cdot (4)^3}{12} = 5,3\text{cm}^4$$

$$I_2 = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \cdot (6)^3}{12} = 18\text{cm}^4$$

$$I_3 = I_1 = 5,3\text{cm}^4$$

Kemudian kita menerapkan teorema sumbu parallel untuk mendapatkan momen kedua dari luas bidang potong terhadap sumbu centroid. Teorema tersebut ditulis dalam persamaan

$$I_x = I_{cg} + Ad^2$$

Dimana I_{cg} adalah luas momen kedua terhadap sumbu centroid, dan I_x adalah sumbu paralel apa saja yang terpisah sejauh d dari potongan persegi teratas.

$$d_1 = 3,1 - 2 = 1,1 \text{ cm}$$

$$d_2 = 1,9 - 0,5 = 1,4 \text{ cm}$$

$$d_3 = 3,1 - 2 = 1,1 \text{ cm}$$

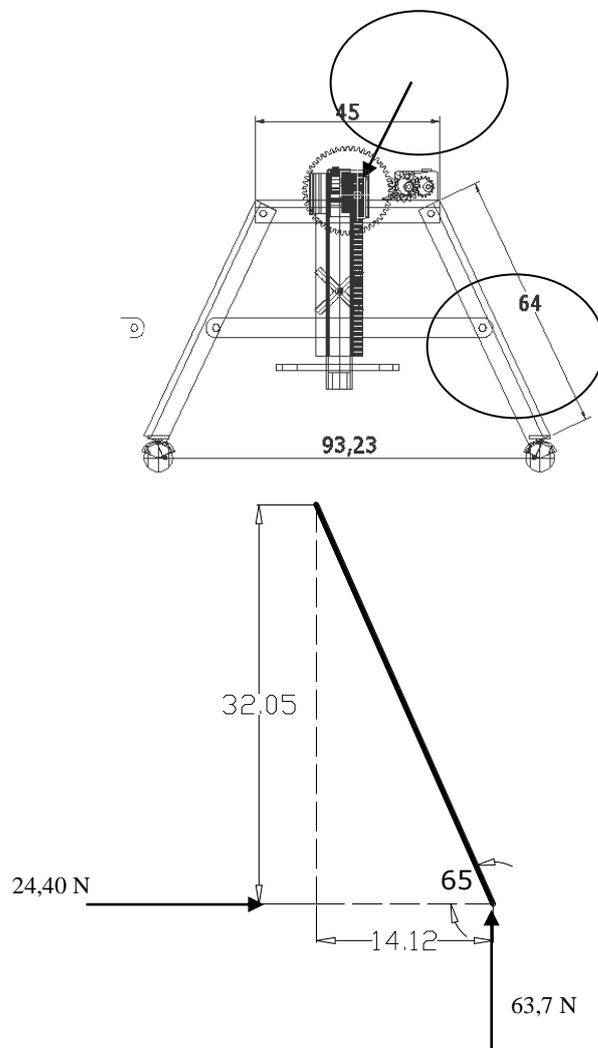
Dengan menggunakan teorema sumbu paralel, maka

$$I = (5,3 + 4 \text{ cm}^2 \cdot (1,1)^2) + (18 + 6 \text{ cm}^2 \cdot (1,4)^2) + (5,3 + 4 \text{ cm}^2 \cdot (1,1)^2)$$

$$I = 10,14 \text{ cm}^4 + 29,76 \text{ cm}^4 + 10,14 \text{ cm}^4$$

$$I = 50 \text{ cm}^4$$

Akhirnya, kita dapat mencari besarnya tegangan *bending* yang disebabkan oleh momen gaya yang sudah kita temukan pada analisa elemen gaya.



Gambar 4.33 Elemen Gaya pada Struktur Rangka

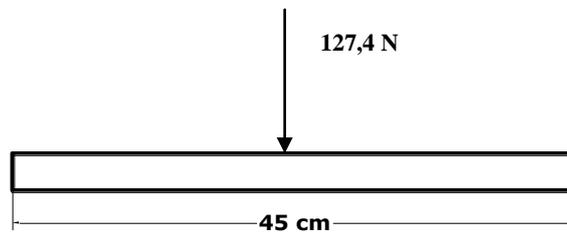
Karena arah momen sama (berlawanan jarum jam) maka total momen adalah :

$$M = (63,7 \text{ N} \times 14,12 \text{ cm}) + (24,40 \text{ N} \times 32,05 \text{ cm}) = 8,99 \text{ Nm} + 7,820 \text{ Nm} \\ = 16,8 \text{ Nm}$$

$$\sigma_1 = \frac{MC_1}{I} = \frac{16,8 \cdot 1,9 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 0,638 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_2 = \frac{MC_2}{I} = \frac{16,8 \cdot 3,1 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 1,042 \text{ MPa (tarik)}$$

Pada batang profil atas, maka tegangan bending maksimumnya adalah



Gambar 4.34 Gaya Tekan yang Diterima Rangka oleh Gaya Berat Struktur Atas

Maka momen yang ditimbulkan adalah :

$$M = 127,4 \text{ N} \times (45/2) = 28,67 \text{ Nm}$$

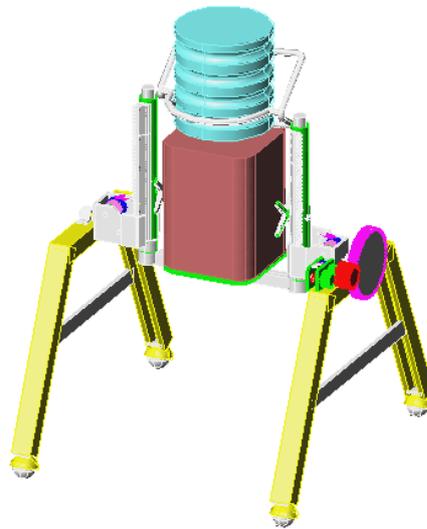
$$\sigma_1 = \frac{MC_1}{I} = \frac{28,67 \cdot 1,9 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 1,1 \text{ MPa (tekan)}$$

$$\sigma_2 = \frac{MC_2}{I} = \frac{28,67 \cdot 3,1 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 1,8 \text{ MPa (tarik)}$$

Dengan besarnya tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada batang adalah 1,8 MPa, maka profil U yang digunakan dapat berupa Alumunium Alloy 17 ST. Pertimbangannya adalah kekuatan bahannya mampu mengatasi tegangan geser sampai 220 Mpa, serta berat jenisnya yang relatif sangat kecil ($2700 \text{ kg} / \text{m}^3$ bandingkan dengan besi tempa yang berat jenisnya $7200 \text{ kg} / \text{m}^3$).

4.7 *Solid Model*

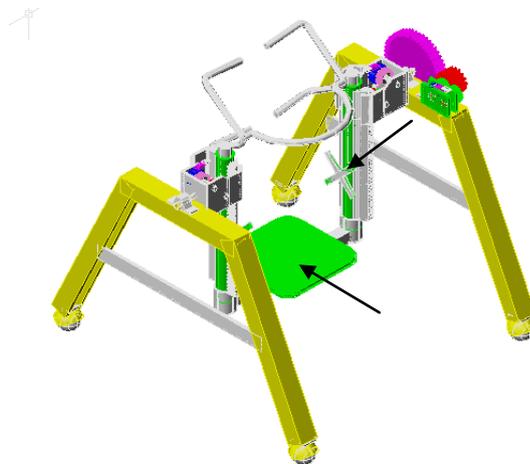
Untuk melengkapi proses penjabaran detail desain, maka dengan bantuan software CAD, detail desain pengangkat galon ke dispenser dimodelkan dalam bentuk solid model.



Gambar 4.35 Bentuk Solid Model Rancangan

Pada subbab ini akan dijelaskan simulasi kerja alat sehingga pembaca dapat memahaminya. Cara kerja alat ini diperagakan oleh rangkaian gambar sebagai berikut :

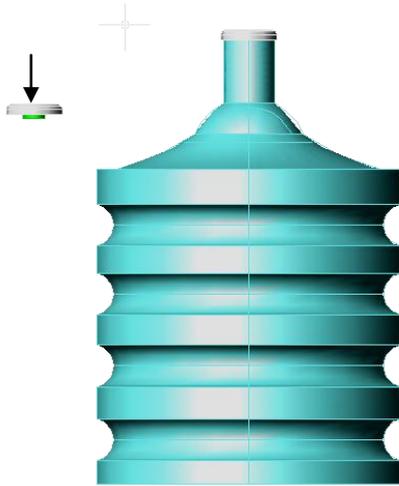
1. posisi 1



Gambar 4.36 Posisi Alat pada saat *Idle*

Gambar ini memperlihatkan posisi alat pada kondisi awal. Dispenser dipasang pada tempat yang ditunjukkan oleh anak panah dan dikencangkan dengan *clamp* supaya tidak jatuh saat struktur atas diputar.

2. posisi 2.

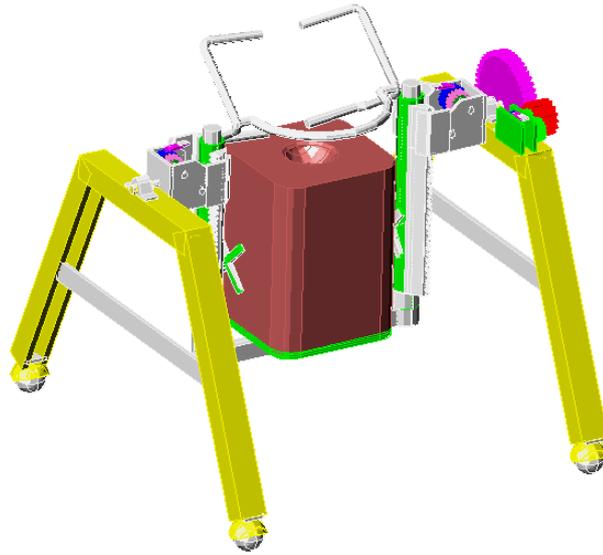


Gambar 4.37 Gambar Penutup Galon Anti - Tumpah Khusus untuk Dipakai pada Dispenser

Pasang penutup khusus galon. Biasanya ketika membeli dispenser, tutup galon seperti ini juga disertakan. Fungsinya adalah sebagai ketika kepala galon berada pada posisi dibawah, tekanan air tidak membuatnya dapat keluar karena leher sumbat membuat sumbat hanya dapat dilepaskan dari arah luar saja. Jadi ketika akan dimasukkan ke dispenser, jarum yang ada pada dispenser akan menusuk galon kearah dalam dan membuat sumbat terlepas sehingga air dapat mengalir ke dispenser.

3. posisi 3

Agar dispenser tidak menumpahkan air sisa yang ada pada tabung dispenser, pastikan bahwa air pada dispenser sudah habis. Caranya dengan membuka kran hingga air tidak menetes lagi

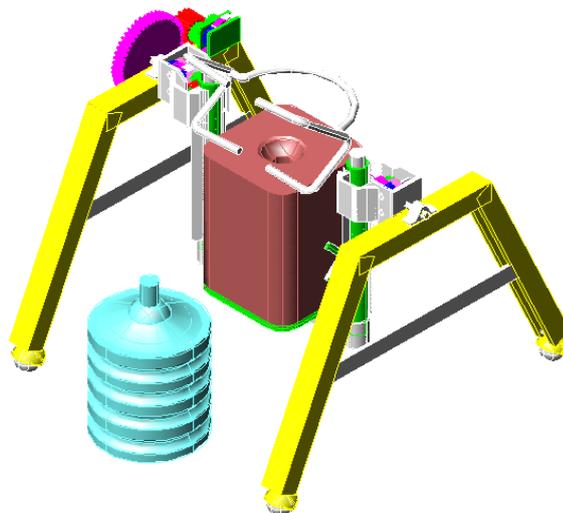


Gambar 4.38 Posisi Pemasangan Dispenser pada Alat

Dispenser sudah berada pada posisinya pada struktur atas. Sekali dispenser sudah ditempatkan pada struktur atas, maka tidak perlu dipindahkan lagi. Kecuali dispenser akan diganti dengan dispenser yang lain.

4. posisi 4

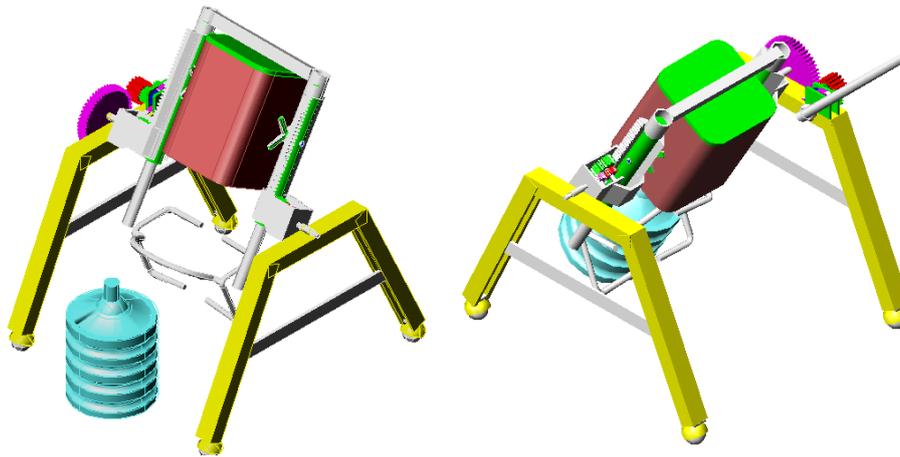
Galon disiapkan di dekat alat.



Gambar 4.39 Posisi Galon Saat akan Dipasangkan dengan Alat

5. posisi 5

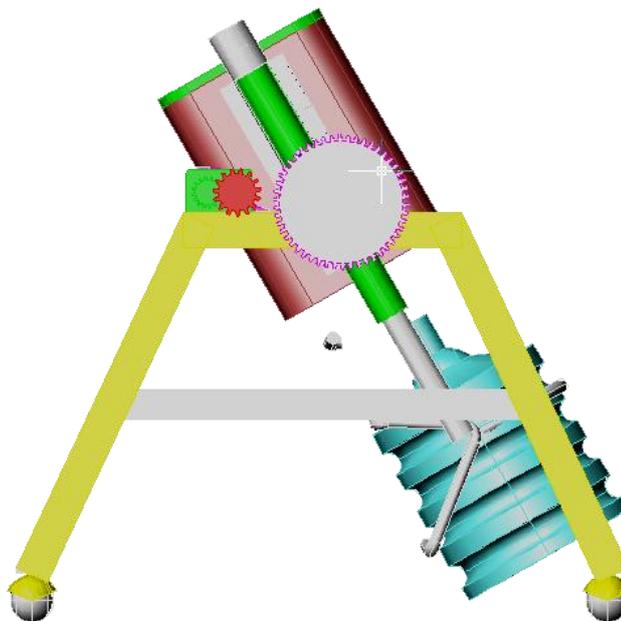
Struktur atas diputar sebesar 150° . untuk memutar struktur atas alat, tempatkan tuas pada pinion seperti gambar. Kemudian tekan tuas keatas sehingga struktur atas membentuk sudut 150° .



Gambar 4.40 Posisi Struktur Atas pada Galon

6. posisi 6

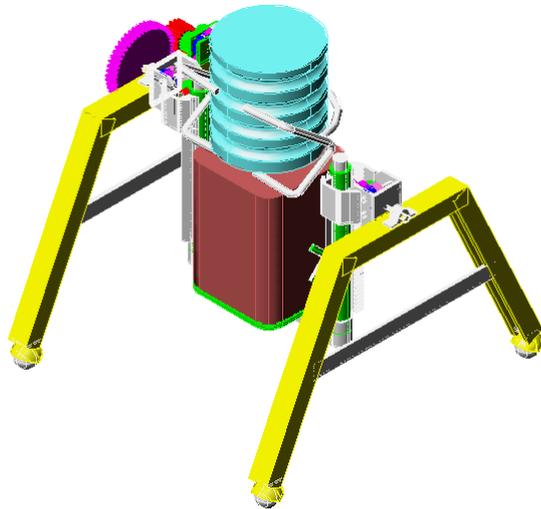
Posisi galon terlihat seperti gambar 4.38 di bawah. Galon agak dimiringkan 30° ke kiri untuk memposisikan *hook* dengan alur galon dan leher galon.



Gambar 4.41 Galon Dimiringkan Sekitar 30° dan Diposisikan pada Hook

7. posisi 7

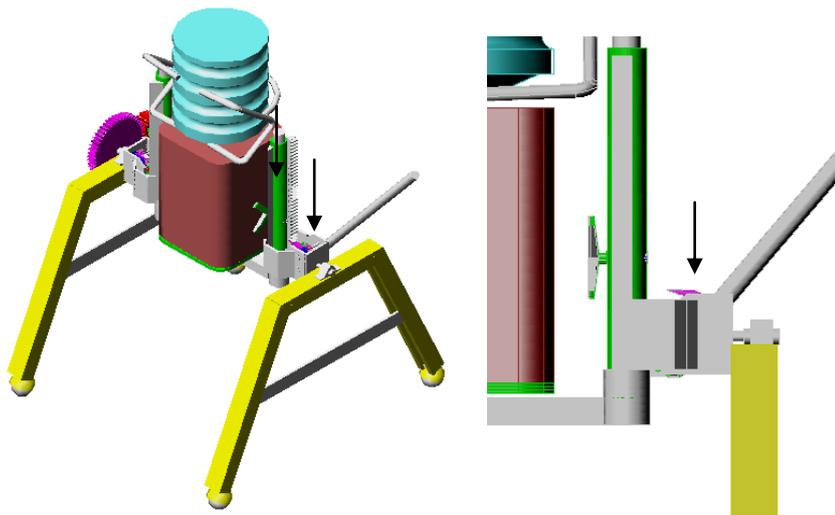
Struktur atas diputar kembali sebesar 150° . sehingga posisi galon masuk ke dalam dispenser. Tuas harus ditekan kebawah.



Gambar 4.42 Posisi Struktur Atas setelah Diputar 150°

8. posisi 8

Struktur diatas diangkat maksimal 35 cm. Posisi tuas ada pada ujung anak panah. Agar struktur atas tidak bergerak turun kembali akibat gaya gravitasi, maka roda *rachet* pada lifting unit harus dikunci. Posisinya seperti gambar insert.



Gambar 4.43 Rangka Atas diangkat Maksimal 35 cm. Setelah Tingginya Sesuai, Kunci Ratchet Dipasang

BAB V

ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

5.1 Analisa Fungsi Desain

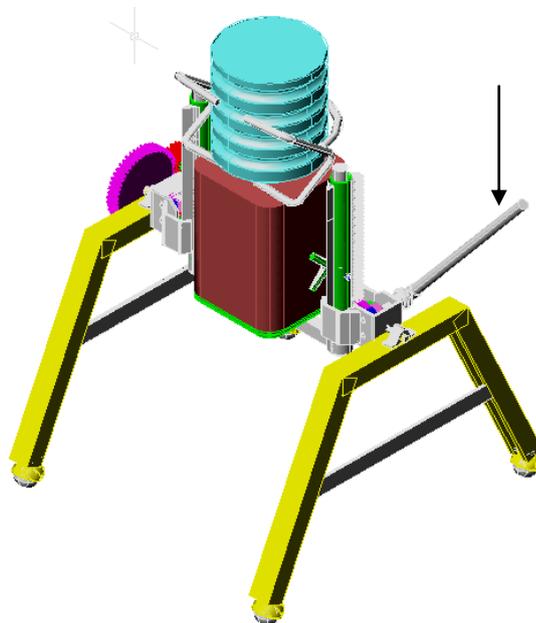
Fungsi alat yang penulis rancang terdiri dari 3 fungsi utama. Pertama adalah mengangkat galon, kedua adalah memutar galon dan ketiga menahan beban statis dispenser dan galon. Dua fungsi yang pertama dapat dipahami dari proses gerakan manual pada proses mengangkat galon ke dispenser. Sedangkan fungsi terakhir adalah sebagai penahan beban statis yang ditimbulkan oleh sistem berat dispenser dan galon sebagai akibat dari percepatan gravitasi yang dialaminya. Pembagian tiga fungsi utama untuk mengikuti aksioma pertama pada konsep *Axiomatic Design* yang penulis gunakan untuk perancangan alat yaitu aksioma independensi fungsi. Aksioma ini memberikan panduan berpikir yang lugas dengan menuntut penyelesaian setiap fungsi desain secara terpisah (independence). Ketika setiap fungsi diselesaikan secara terpisah, maka solusi fisik fungsi tidak akan saling tumpang tindih dan mempengaruhi satu sama lain sehingga penanganan proses desain lebih mudah ditangani. Semua fungsi rancangan ini dijalankan secara mekanis dan tidak memerlukan daya listrik (kecuali untuk daya pada dispenser tentunya). Sehingga ketika listrik di rumah mati, atau sedang berada di luar ruangan, alat ini masih dapat berfungsi.

5.2 Analisa Perbandingan Manual dengan Alat

Pada uraian awal bab IV, penulis menggambarkan besarnya gaya yang terjadi pada tulang belakang ketika seseorang mengangkat galon. Ketika seseorang (sebagai contoh berbobot 50 Kg) dengan berat tubuh bagian atas (torso) seberat 25 Kg, maka ketika ia mengangkat galon seberat 19 Kg timbul gaya tekan pada struktur cakram L5/S1 adalah sebesar 2831 N. Gaya yang ditimbulkannya cukup besar untuk membuat orang yang tidak berfisik prima mengalami cedera. Alat yang penulis rancang berusaha untuk mereduksi beban gaya sebesar itu, dan

memindahkannya dari ruas tulang belakang ke sistem rangka tangan yang digunakan untuk menekan tuas dengan gaya yang kecil.

Pada alat yang penulis rancang, semua pekerjaan terkait pemindahan galon ke dispenser tidak lagi mengandalkan otot belakang. Fungsi rotating dan lifting, menggunakan tuas yang digerakkan oleh tangan pengguna dengan gaya paling besar terjadi pada proses insersi yaitu 26,2 N. Pada proses pre-insersi, gaya maksimal yang dikeluarkan oleh otot tangan adalah sebesar 6,86 N dan pada proses lifting sebesar 8,6 N. Bandingkan dengan gaya yang dikeluarkan pada proses manual yaitu sebesar 2831 N pada otot belakang.

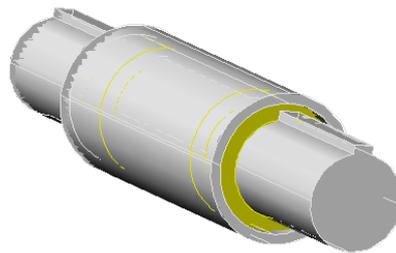


Gambar 5.1 Gaya Yang Diberikan Pada Tuas

5.3 Analisa Performansi Komponen Desain

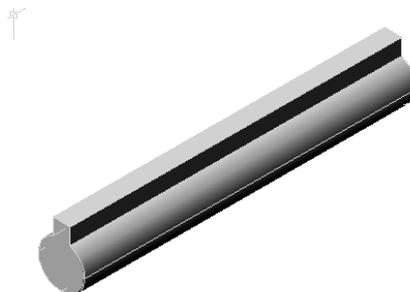
Komponen-komponen yang digunakan pada rancangan alat ini sedapat mungkin dirancang untuk menjalankan fungsi tanpa mengalami kegagalan (*failure*). Kegagalan yang dialami desain dapat berupa patah, bengkok, retak, dan kegagalan struktur atau sistem yang lain. Beberapa komponen pada rancangan ini, mengalami beban kritis yang sangat besar dan lebih berpeluang untuk gagal dibandingkan yang lain. Untuk itu penulis akan menuliskan analisa performansi-nya.

Pada poros rotasi struktur atas, tebal poros sebesar 1,5 cm mengalami tegangan maksimal sebesar 50,81 MPa. Poros yang didesain, menggunakan bahan baja AISI 1030, mampu menerima beban tarik maksimal sampai 521 MPa dan tegangan geser sampai 345 Mpa. Beban *bending* yang diterima sebesar 50,81 MPa jauh lebih kecil dari pada kemampuan material menerima beban geser yaitu 345 Mpa. Sehingga poros rotasi dapat menjalankan fungsinya sebagai sumbu rotasi tanpa mengalami patah.



Gambar 5. 2 Poros Rotasi

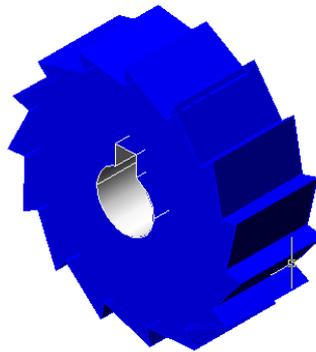
Pada poros gir, beban paling besar dialami oleh gir yang bertindak sebagai idler. Poros didesain berdiameter 10 mm atau 1 cm. Tegangan torsi maksimal yang diterimanya sebesar 120,3 Mpa. Dengan menggunakan bahan poros berupa baja AISI 1030 yang karakteristiknya sudah disebutkan sebelumnya, poros masih dapat bekerja dengan baik dan tidak akan mengalami patah.



Gambar 5. 3 Poros Gir

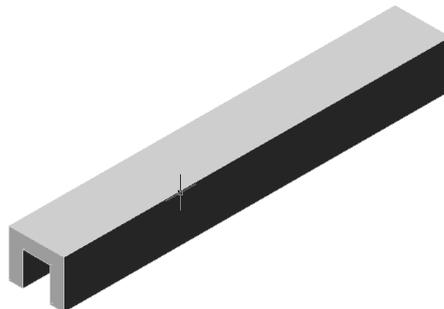
Rachet adalah komponen yang menjalankan fungsi brake. Ketika rachet mendapatkan pembebanan, tegangan bending maksimal yang dialaminya

mencapai 5,08 Mpa. Tegangan bending sebesar ini untuk pembebanan pada material logam besi dan baja adalah relatif kecil. Oleh karena semua jenis besi dan baja mampu mengatasi pembebanan sebesar itu, penulis memutuskan penggunaan material besi yang paling murah. Besi tempa dapat digunakan untuk komponen ratchet ini karena kemampuannya menahan tegangan geser sampai 130 MPa, juga merupakan material yang dapat diproduksi oleh rumah produksi sekelas bengkel logam biasa sehingga harganya relatif murah dibandingkan jenis besi dan baja lainnya.



Gambar 5.4 Ratchet

Pembebanan sistem berat galon, dispenser dan struktur rangka atas, membentuk beban yang harus ditahan oleh struktur rangka bawah. Pada struktur rangka bawah, beban maksimal yang harus ditahan oleh struktur adalah sebesar 1,8 Mpa.



Gambar 5.5 Batang Rangka yang Dipakai

Untuk keperluan itu, maka penulis memilih batang alumunium berprofil U dari bahan alumunium alloy 17 ST. Material ini mampu mengatasi tegangan geser

sampai 220 Mpa dan yang paling utama adalah massa jenisnya yang ringan. Material ini memiliki massa jenis sebesar 2700 kg/m^3 . Bila dibandingkan dengan besi tempa, 7200 kg/m^3 , maka material ini sangat ringan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian perancangan ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Proses mengangkat galon secara manual merupakan pekerjaan yang berat dan beresiko besar menimbulkan cedera pada daerah punggung apabila dipaksakan.
- Fungsi utama perancangan alat pengangkat galon dapat dijalankan hanya dengan tiga fungsi utama : *Rotating, Lifting, Structure*. Kesemua fungsi ini memenuhi prinsip *independence* aksioma.
- Pada rancangan alat ini, beban gaya yang ditanggung oleh otot belakang dan L5/S1 pada proses mengangkat galon secara manual, direduksi dan dipindahkan ke tangan pada saat menekan tuas. Gaya tekan tangan pada tuas dirancang secara aman dan ringan, sehingga dapat dioperasikan dengan mudah.

6.2 Saran

Saran dari penulis untuk pengembangan alat pengangkat galon ini adalah, membuat desain alat yang memiliki fungsi desain yang sama dengan yang penulis rancang, sehingga dapat dilakukan perbandingan untuk kemudian dipilih desain yang paling baik dengan aksioma kedua : *Information Axiom*. Desain yang paling baik nantinya adalah desain dengan nilai informasi terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Muin, Ir. Syamsir. 1990, *Pesawat-Pesawat Pengangkat*. Jakarta : CV. Rajawali.
- Dieter, George E. 2000, *Engineering Design 3rd ed.* Singapore : McGraw-Hill.
- Hurst, Ken. 2006, *Prinsip-Prinsip Perancangan Teknik*. terjemahan. Jakarta : Erlangga.
- Norton, Robert L. 1999, *Design of Machinery*. Singapore : McGraw-Hill.
- Suh, Nam Pyo. 2001, *Axiomatic Design—Advance and Application*. New York : Oxford University Press.
- Parmley, Robert O. 1997, *Standard Handbook of Fastening and Joint 3rd ed.* Singapore : McGraw-Hill.
- Harsokoesoemo, H. Darmawan. 2000, *Pengantar Perancangan Teknik*. Jakarta : Depdiknas.
- Tahid, Ir. Suwarno dan Yunia Dwi Nurcahyati. 2007, *Konsep Teknologi Dalam Pengembangan Produk Industri*. Jakarta : Kencana Pranda Media.
- Djokosetyardjo, Ir. M.J. 1990, *Mesin Pengangkat I*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Pytel, Andrew and Jaan Kiusalass. 2003, *Mechanics of Material*. Singapore : Thomson.
- Schodeck, Daniel L. *Struktur*. 1999, Terjemahan : Ir. Bambang Suryoatmono Msc, PhD. Jakarta : Erlangga.
- Ullrich, Karl T. And Steven D. Eppinger. 2000, *Product Design and Development 2nd ed.* Singapore : McGraw-Hill.
- Shigley, Joseph E. and Charles R. Mischke. 2001, *Machine Element 6th ed.* Singapore : McGraw-Hill.
- Ullman, David G. 1997, *The Mechanical Design Process 2nd ed.* Singapore : McGraw-Hill.
- Eatas, Atilla and Jesse C. Jones. 1996, *The Engineering Design Process*. Singapore : John Willey & Sons.