



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN *ADD ON SHOPPING CART* PADA SEPEDA LIPAT
*STUDENT VERSION***

SKRIPSI

DANU KURNIA PRASETIO WIBOWO

0606073032

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN *ADD ON SHOPPING CART* PADA SEPEDA LIPAT
*STUDENT VERSION***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DANU KURNIA PRASETIO WIBOWO

0606073032

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Danu Kurnia Prasetio Wibowo

NPM : 0606073032

Tanda Tangan :



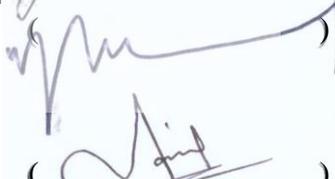
Tanggal : Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Danu Kurnia Prasetio Wibowo
NPM : 0606073032
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : *Perancangan Add On Shopping Cart Pada Sepeda Lipat Student Version*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Hendri Dwi Saptioratri Budiono, Meng ()
Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, MEng ()
Penguji : Ir. Henky Suskito Nugroho, MT ()
Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro, ST, MT, Meng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.,

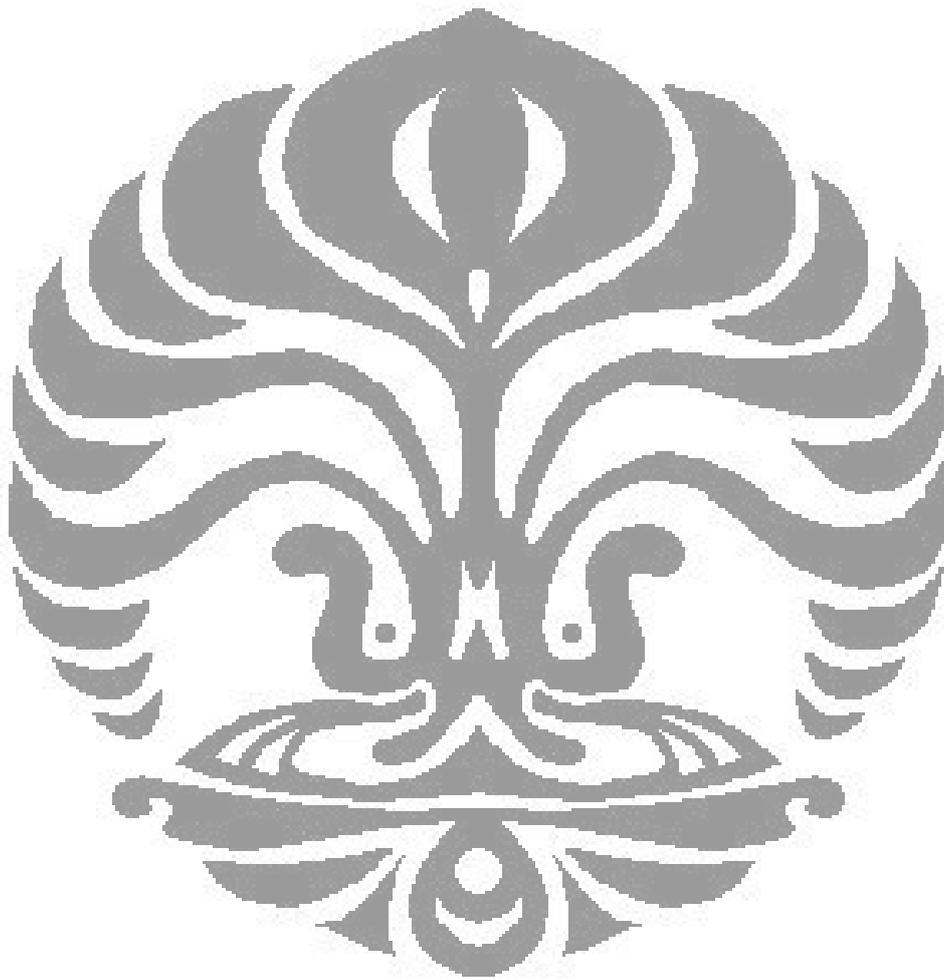
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat beserta salam saya haturkan pada contoh terbaik sepanjang masa Rasulullah SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Hendri Dwi Saptioratri Budiono, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Nasrudin, selaku pembimbing akademis.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas kesabaran dan perhatiannya dalam menanamkan ilmu pengetahuan dan nilai kehidupan untuk penulis.
4. Bapakku, Ibuku, dan Adik-adikku, yang sangat penulis cintai dan sayangi, yang tak henti-hentinya memberikan doa, kasih sayang, dukungan dan semangat kepada penulis selama ini yang tidak akan pernah mungkin penulis dapat membalasnya sampai kapanpun.
5. Rekan satu bimbingan, Feri dan Ipul atas kerjasama dan bantuannya selama penyusunan skripsi.
6. Teman-teman dari Kebumen, khususnya di *Kost Kandang Sapi*.
7. Seluruh teman Teknik Mesin angkatan 2006 yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu atas dukungan moral dan semangat serta ilmunya selama menjalankan kuliah.

8. Bapak Martinus dan juga para karyawanya yang sudah membantu saya membuat *prototype shopping cart*.

Depok, Januari 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Danu Kurnia Prasetio Wibowo

NPM : 0606073032

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Perancangan Add On Shopping Cart Pada Sepeda Lipat Student Version

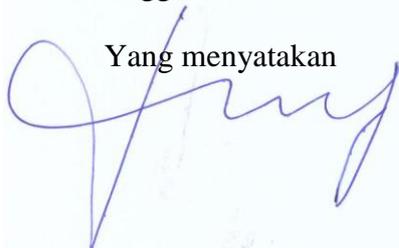
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2011

Yang menyatakan



(Danu Kurnia Prasetio Wibowo)

ABSTRAK

Nama : Danu Kurnia Prasetio Wibowo

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Perancangan *add on Shopping Cart* pada Sepeda Lipat *Student Version*

Meningkatnya penggunaan sepeda sebagai alat transportasi termasuk penggunaan sepeda untuk berbelanja, maka mendorong untuk dilakukannya penambahan keranjang pada *Prototype SeliqUI Student Version. Shopping cart* di design dengan mekanisme penggabungan yang praktis dengan mekanisme rel yang mampu membawa beban belanjaan sampai 20 kg. Penelitian *shopping cart* membahas mengenai proses perancangan serta pembuatan *shopping cart* untuk menahan beban 20 kg baik saat sebagai troli belanja atau saat digabungkan dengan sepeda. Untuk mengetahui kekuatan dan kesetabilan *shopping cart* maka perlu dilakukan perhitungan kontruksi baik secara teoritis maupun dengan simulasi FEM. Perancangan ini dinyatakan aman karena pada perhitungan tersebut dihasilkan *von-misses stress* terbesar 69 Mpa dan *safety factor* terkecil adalah 3.

Kata kunci: *shoping cart*, sepeda lipat, troli

ABSTRACT

Name : Danu Kurnia Prasetyo Wibowo

Study Program : Mechanical Engineering

Title : Designing Shopping Cart Add On on the Student Version
Folding Bike

Growth of bicycle consumption as transportation including the additional function for shopping so it motivates us to add cart as the additional feature for Prototype SeliqUI Student Version. Shopping cart is designed with simple joint system and rail mechanism which has maximum load until 20 kg. The research of shopping cart focus in the design and manufacture of it with operation load 20 kg both as a trolley or when joined with bicycle. To know the strength and stability of shopping cart so it has to calculate the construction of it. Both theoretically and FEM simulation by software. This design can be considered safe when its calculation is resulted von-mises stress 69 Mpa and minimum safety factor 3.

Keywords: shopping carts, folding bike, trolleys

DAFTAR ISI

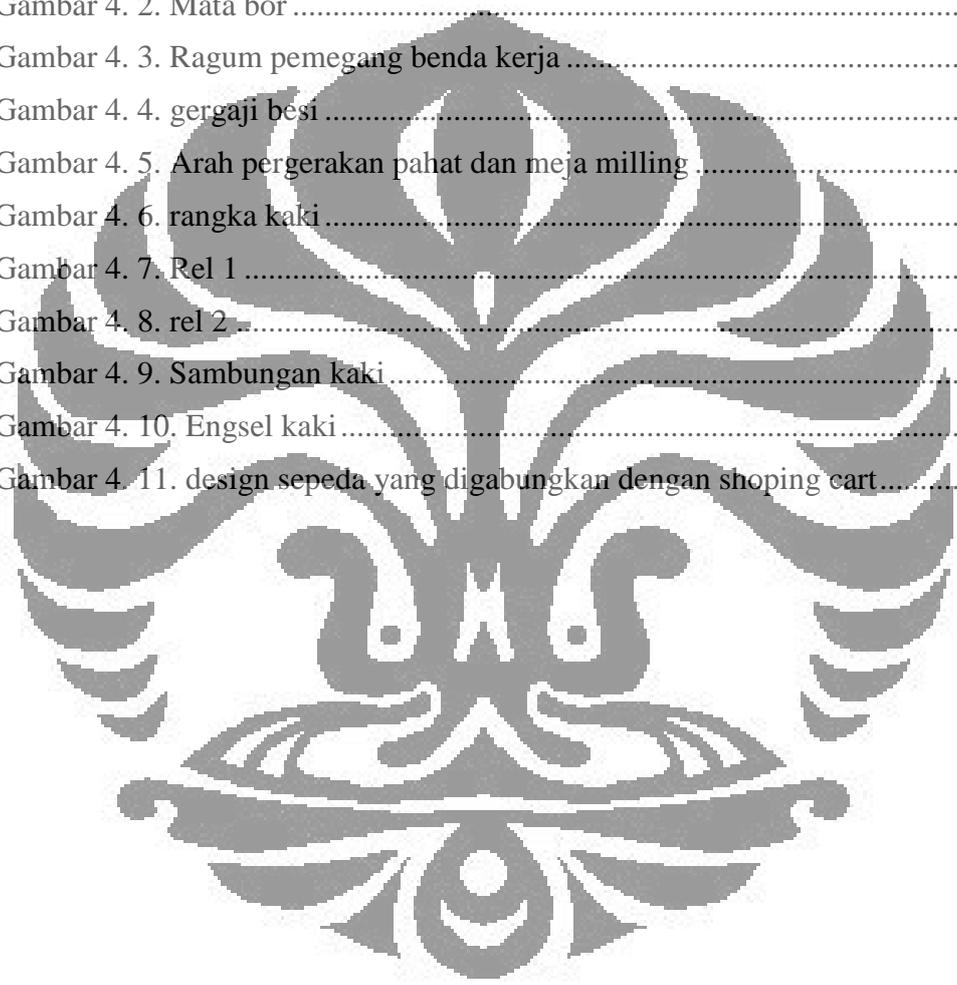
UNIVERSITAS INDONESIA.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Pembatasan Masalah	7
1.5. Metodologi penelitian	8
1.6. Sistematika Penulisan.....	9
BAB 2. DASAR TEORI.....	10
2.1. Beban, Tegangan, dan Regangan.....	10
2.1.1. Teori Material	10
2.1.3. Klasifikasi Beban dan Kesepakatan Tanda.....	11
2.1.4. Reaksi Tumpuan	14
2.1.5. Bidang Tegangan	15
2.2. Hubungan Tegangan-Regangan.....	16
2.2.1. Grafik Tegangan vs Regangan.....	16
2.2.2. Modulus Elastisitas/Modulus Young.....	17
2.2.3. Yield Strength	18
2.2.4. Ultimate Tensile Strength (UTS).....	18
2.3. Bending, Transverse Shear Stresses dan Strains.....	18
2.3.1. Pusat Benda (Centroid of Area/Center of Gravity).....	18

2.3.2. Daerah Momen Inertia (<i>Area Moment of Inertia</i>).....	19
2.3.3. Normal Stress	20
2.3.4. Bending Stress dan Strain	21
2.3.5. Transverse Shear Stress	23
2.4 Distortion Energy Theory	24
2.5 Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>).....	24
2.6 Metode Elemen Hingga	24
2.7 Proses Pemesinan.....	25
2.7.1. Proses Pemesinan Dengan Mesin Milling (Frais).....	26
2.8 Las Busur	29
BAB 3. PERHITUNGAN.....	31
3.1 Desain-desain awal	31
3.2 Mekanisme Penggabungan Troli dengan sepeda.....	32
3.2.1 Mekanisme penggabungan rancangan 1	32
3.2.2 Mekanisme penggabungan rancangan 2	33
3.2.3 Mekanisme penggabungan rancangan 3	34
3.3. Pertimbangan desain dan pemilihan desain akhir troli.....	34
3.4 Perhitungan.....	36
3.4.1 Perhitungan faktor kesetabilan.....	36
3.4.2 Pengambilan Data.....	37
3.4.3 Perhitungan teoritis	38
3.4.4 Hasil FEM.....	45
BAB 4. PROSES PRODUKSI.....	49
4.1 Proses pembuatan add on shopping cart.....	49
4.1.1 Alat – alat yang digunakan untuk pembuatan shopping cart	49
4.1.2 Proses pengerjaan shopping cart	51
BAB 5. ANALISA DAN KESIMPULAN	57
5.1 Analisa	57
5.2 Analisa hasil perhitungan.....	58
5.3 Kesimpulan	59
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

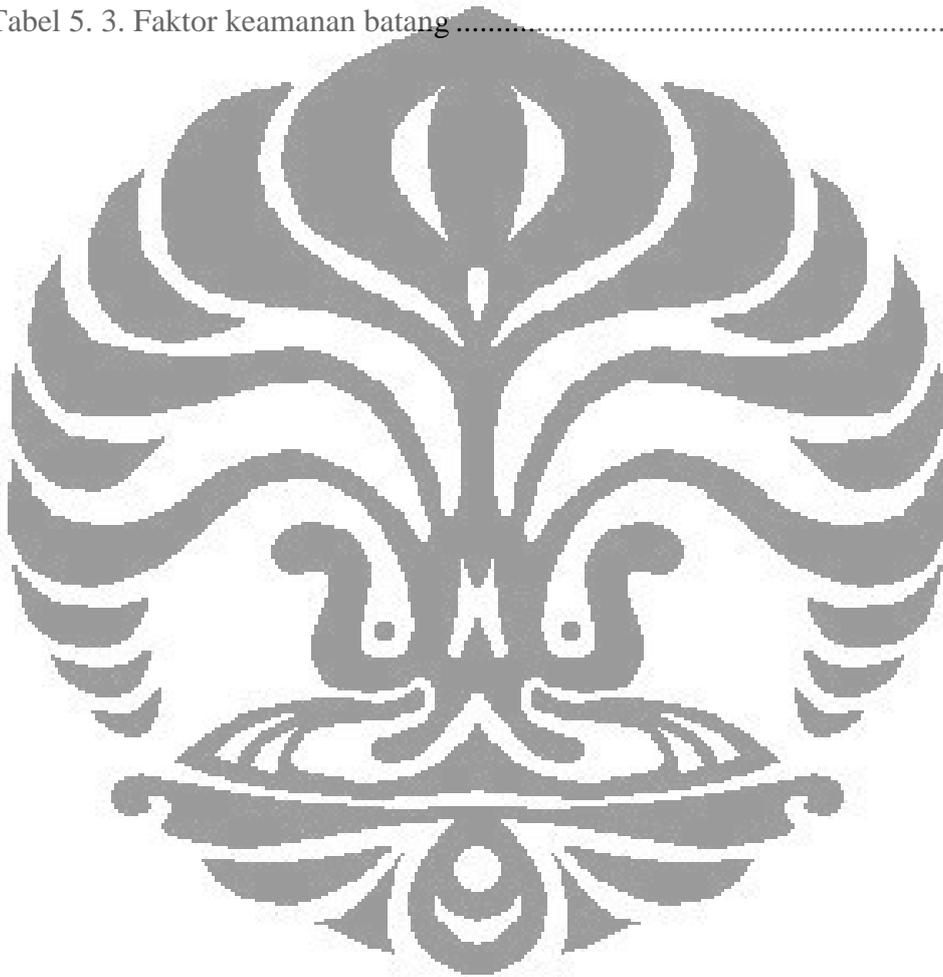
Gambar 1. 1. Jalur dan halte sepeda di kampus Universitas Indonesia	2
Gambar 1. 2. SeliqUI tipe Urban1.2	3
Gambar 1. 3. Alur Pengembangan SeliqUI tipe Urban 1.2.....	4
Gambar 1. 4. Prototipe SeliqUI Student Version.....	6
Gambar 1. 5. Design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart.....	6
Gambar 1. 6. Design addon shopping cart	7
Gambar 1. 7. Bagan alur penelitian pembuatan shopping cart	8
Gambar 2. 1. Diagram Tegangan vs Regangan untuk uji tarik ductile material ...	11
Gambar 2. 2. (a) Concentrated Load;(b) Distributed Load.....	12
Gambar 2. 3. Beban diklasifikasikan menurut lokasi dan metode aplikasinya.....	13
Gambar 2. 4. (a)Komponen tiga dimensi;(b)komponen dua dimensi.....	14
Gambar 2. 5. Tiga tipe tumpuan pada batang. (a) Simply supported; (b) cantilevered; (c) overhanging.....	14
Gambar 2. 6. Kondisi Tegangan	15
Gambar 2. 7. Grafik Stress vs Strain.....	17
Gambar 2. 8. Bending Stress.....	22
Gambar 2. 9. Shear Stress	23
Gambar 2. 10. Mesin Frais universal	27
Gambar 2. 11. Mesin Frais Vertikal.....	28
Gambar 2. 12. Mesin Frais Universal CNC.....	29
Gambar 2. 13. Skema nyala busur	30
Gambar 3. 1. desain 1 shopping cart.....	31
Gambar 3. 2. desain 2 shopping cart.....	31
Gambar 3. 3. desain 3 shopping cart.....	32
Gambar 3. 4. Mekanisme penggabungan rancangan 1	33
Gambar 3. 5. Mekanisme penggabungan rancangan 2	33
Gambar 3. 6. Mekanisme penggabungan rancangan 3	34
Gambar 3. 7. kesetabilan sepeda pada posisi di standar tanpa penumpang dan akan digabungkan dengan troli.....	36

Gambar 3. 8. kesetabilan sepeda pada saat dinaiki dan melewati tanjakan	37
Gambar 3. 9. Plot kontur dari von-misses stress pin sambungan kaki	46
Gambar 3. 10. Plot kontur dari von-misses stress rangka kaki	47
Gambar 3. 11. Plot kontur dari von-misses stress rel.....	47
Gambar 3. 12. Plot kontur dari von-misses stress penopang troli.....	48
Gambar 4. 1. Mesin milling	49
Gambar 4. 2. Mata bor	50
Gambar 4. 3. Ragum pemegang benda kerja	50
Gambar 4. 4. gergaji besi	51
Gambar 4. 5. Arah pergerakan pahat dan meja milling	52
Gambar 4. 6. rangka kaki	53
Gambar 4. 7. Rel 1	54
Gambar 4. 8. rel 2	54
Gambar 4. 9. Sambungan kaki	55
Gambar 4. 10. Engsel kaki	55
Gambar 4. 11. design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart.....	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Centroid, area moment of inertia dan area untuk beberapa cross section	20
Tabel 5. 1. design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart.....	58
Tabel 5. 2. design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart.....	58
Tabel 5. 3. Faktor keamanan batang	59



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Isu pemanasan global saat ini menjadi isu yang paling hangat dibicarakan dan menjadi perhatian utama masyarakat dunia. Dalam rangka merealisasikan komitmennya untuk mengurangi dampak pemanasan global, pemerintah RI telah menyusun beberapa program yang diharapkan dapat berjalan dengan optimal di masyarakat. Salah satu programnya adalah kampanye *Stop Global Warming* dengan mengurangi pemakaian kendaraan pribadi. Sebagai gantinya, pemerintah terus berupaya membangun model transportasi massal yang diharapkan dapat menghubungkan seluruh wilayah, contohnya pembangunan jalur Trans Jakarta Busway, pembangunan monorail dan subway di propinsi DKI Jakarta. Hal ini diharapkan dapat mendorong para pengguna mobil pribadi untuk beralih menggunakan model transportasi massal untuk mengurangi gas buang kendaraan bermotor yang semakin meningkat. Selain itu, Presiden Susilo Bambang Yudhoyono sendiri juga sudah mengkampanyekan penggunaan alat transportasi tanpa polusi seperti sepeda untuk bepergian dan bekerja, aksi ini beketja sama dengan komunitas pengguna sepeda terbesar di Indonesia *Bike to Work*.

UI sendiri telah mengambil langkah yang nyata untuk mengkampanyekan *Stop Global Warming*. Diantaranya dengan turut mengkampanyekan penggunaan sepeda yang langsung dipimpin oleh Rektor sendiri. Bahkan lebih jauh lagi, dengan dibangunnya jalur sepeda di lingkungan UI yang menghubungkan semua fakultas menunjukkan keseriusan pemerintah pada umumnya dan UI pada khususnya untuk mendorong penggunaan sepeda sebagai salah satu solusi kendaraan alternatif tanpa polusi. "Jalur sepeda ini merupakan jalur yang pertama dibuat di Indonesia, khususnya di dalam lingkungan kampus. Jalur sepeda pada gambar 1.1 tersebut dibuat dengan konsep "green campus and world class campus" (kampus hijau yang bertaraf internasional)" kata Rektor UI, Prof Gumilar Rusliwa Somantri, kepada ANTARA, di Depok, Selasa [2].



Gambar 1. 1. Jalur dan halte sepeda di kampus Universitas Indonesia

Serupa dengan kebijakan kampus Universitas Indonesia, saat ini pemerintah juga sedang berusaha mengupayakan pengadaan jalur khusus sepeda di berbagai tempat. Kebijakan ini sesuai dengan UU No.22/2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang menyebutkan bahwa pejalan kaki dan pengguna sepeda juga dilindungi hak-haknya di jalan raya. Oleh karena itu, pembangunan jalur sepeda sudah merupakan kebutuhan untuk melindungi hak mereka, termasuk saat melintasi jalan atau traffic light. Saat ini ada beberapa daerah yang telah disiapkan untuk merealisasikan jalur-jalur sepeda ini diantaranya di wilayah Jakarta Selatan.

Penggunaan transportasi masal, seperti busway dan kereta listrik sudah mulai banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Jakarta. Akan tetapi, transportasi masal tersebut belum bisa dirasakan oleh seluruh masyarakat, dikarenakan jumlahnya yang masih sangat kurang. Selain itu masalah yang dialami masyarakat adalah terkadang jarak antara stasiun, terminal atau halte bus dengan tempat tujuan mereka masih cukup jauh. Atau dengan kata lain tempat tujuan mereka tidak bisa langsung dicapai dengan kendaraan umum. Begitu pula dengan penggunaan sepeda, bila kuliah di kampus UI dan berdomisili di Priuk contohnya, bagaimana mungkin dapat pulang pergi menggunakan sepeda secara efektif.

Membawa dan menyimpan sepeda akan menimbulkan masalah baru bagaimana membawa sepeda di dalam kendaraan dan bagaimana menyimpan sepeda agar lebih praktis dan tidak memakan tempat yang besar. Diketahui satu unit sepeda mempunyai ukuran panjang lebih kurang 1.6 meter dan tinggi lebih kurang 1,2 meter maka tidak praktis membawa sepeda di dalam mobil atau kendaraan umum.

Upaya memberikan solusi atas permasalahan di atas harus dilakukan dengan menggabungkan kedua aspek yang terkait, yaitu aspek jarak dan kemudahan mencapai tujuan. Konkritnya dengan melakukan desain bentuk sepeda yang dapat dilipat sehingga seseorang dapat berangkat dari rumahnya menggunakan sepeda sampai ke stasiun atau halte terdekat, kemudian melipat sepedanya dan membawanya naik kereta atau bus ke tempat tujuannya. Sesampainya di stasiun atau halte, pengendara dapat membuka kembali sepedanya dan bersepeda ke kantor atau kampus yang dituju. Selanjutnya sesampainya di kantor dia dapat melipatnya kembali, membawanya masuk lift dan meletakkannya di samping meja kerja. Sebuah solusi yang sederhana tetapi akan menjadi efektif dan efisien, terutama dengan dukungan pemerintah dan komunitas masyarakat dalam kampanye penggunaan sepeda sebagai kendaraan alternatif untuk berangkat kerja maupun sekolah.

Penelitian tentang sepeda lipat ini telah dilakukan sejak tahun 2006 oleh Departemen Teknik Mesin FTUI dengan telah menghasilkan suatu produk sepeda lipat yang dinamakan SeliqUI. Sampai dengan saat ini, Departemen Teknik Mesin FTUI telah berhasil mengembangkan SeliqUI tipe Urban 1.2 sampai memasuki tahap produksi dan telah dijual untuk kalangan terbatas.

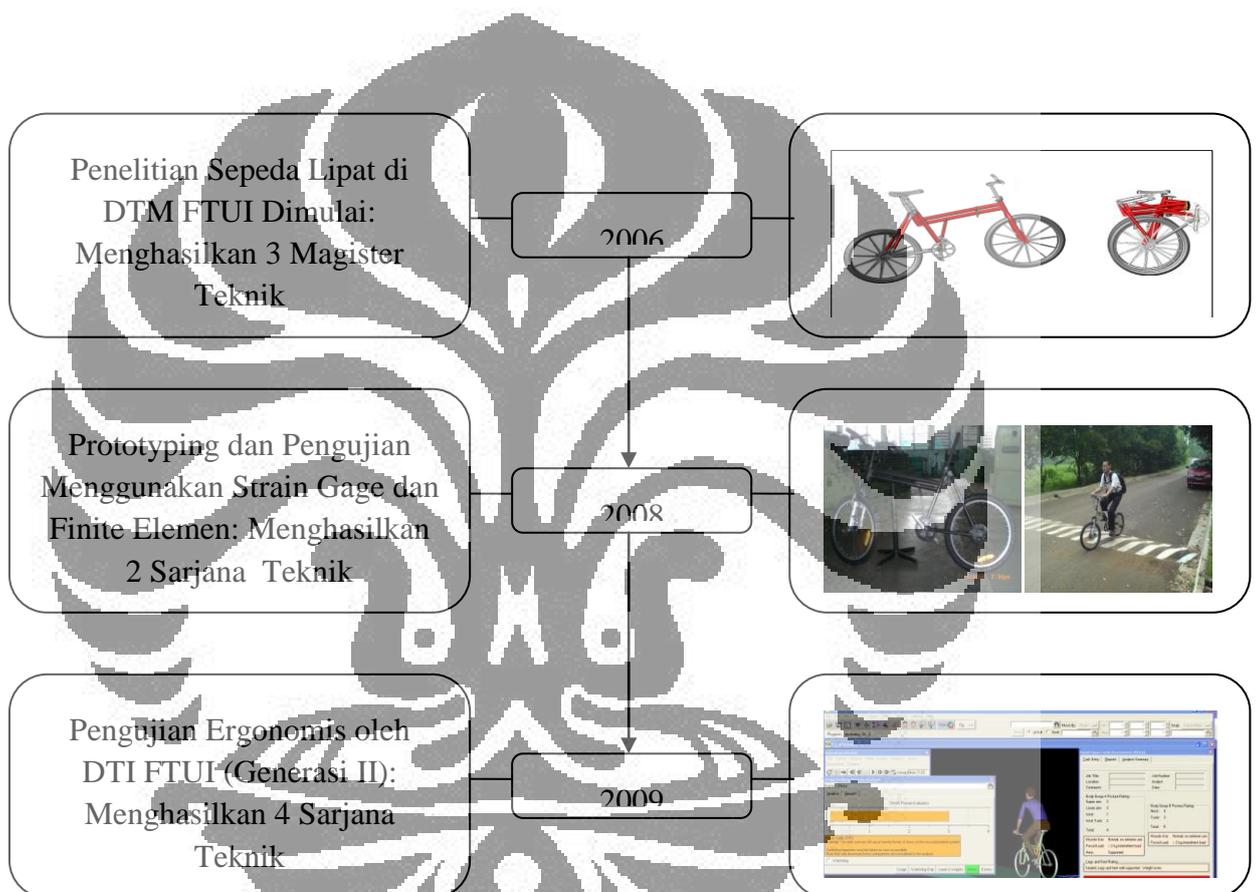


Gambar 1. 2. SeliqUI tipe Urban1.2

Produksi SeliqUI tipe Urban 1.2 pada gambar 1.2 di atas dapat terwujud karena penelitian tidak berhenti sebatas gambar atau *prototype* semata tetapi terus berlanjut. Maka rangkaian alur pengembangan produk harus dijalankan yang meliputi perancangan, *prototyping*, dan pengujian lebih lanjut untuk memperoleh

data yang dapat digunakan untuk memprediksikan kegagalan dan kekuatan rancangan, agar pada akhirnya rancangan ini dapat menjadi produk yang bermanfaat di masyarakat.

Alur penelitian dan pengembangan SeliqUI yang digambarkan pada gambar 1.3 dilakukan secara bergantian dan berurutan oleh beberapa alumni mahasiswa Departemen Teknik Mesin UI dan Departemen Teknik Industri UI sebagai tugas akhir mereka.



Gambar 1.3. Alur Pengembangan SeliqUI tipe Urban 1.2

Dengan berbagai penyempurnaan yang dilakukan, Departemen Teknik Mesin FTUI telah berhasil mengembangkan seliqUI tipe Urban 1.2 sampai memasuki tahap produksi dan telah dijual untuk kalangan umum. Namun, salah satu kekurangannya adalah harga yang kurang sesuai untuk kalangan mahasiswa serta mekanisme pelipatan yang terbilang cukup rumit. Oleh karena itu, penelitian dimaksudkan untuk pengembangan sepeda lipat dari tipe Urban 1.2 menjadi

Student Version dengan harga yang relatif terjangkau dan mekanisme pelipatan yang jauh lebih sederhana.

Prototyping sepeda lipat *Student Version* ini telah selesai dan masih perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut, Pengembangan yang dilakukan pada *student version* ini adalah dengan merancang *add on shopping cart* yang bisa disatukan dan dipisahkan dengan sepeda lipat ini. Dengan adanya inovasi ini diharapkan ibu-ibu bisa dengan mudah berbelanja dengan sepedanya tanpa harus membawa mobil atau motor untuk membawa barang belanjanya.

Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Master Indeks pada tahun 2005, pertumbuhan penjualan ritel di Indonesia mencatat angka terbesar se-Asia-Pasifik yaitu mencapai 16,9 persen per tahun atau sebesar Rp 166 triliun. Angka ini merupakan angka yang terbesar se-Asia Pasifik. Pertumbuhan ritel di Indonesia tercermin dengan pesatnya pertumbuhan mini market sebagai salah satu pasar modern dan ritel di Indonesia. Pada kurun waktu 2002-2006, mini market tumbuh rata-rata 29% per tahun. Gerai-gerai mini market yang tadinya hanya berjumlah ratusan di tahun 2002 melonjak menjadi ribuan di tahun 2006.

Dengan pertumbuhan minimarket yang sangat cepat di Indonesia karena memang masyarakat lebih senang berbelanja di minimarket Hal ini antara lain disebabkan lebih nyaman untuk berbelanja di mini market karena tidak becek, bau dan kotor; selisih harga yang tidak terlalu jauh berbeda antara mini market dengan pasar tradisional, harga produk yang tetap yang berarti tidak perlu tawar menawar antara konsumen dengan pemilik yang mana hal ini juga berarti menghemat waktu dalam berbelanja serta adanya beragam produk yang dijual di satu gerai yang berarti lebih praktis dalam berbelanja.

Dengan inovasi seperti ini diharapkan masyarakat semakin dekat dengan transportasi sepeda yang multifungsi sehingga penggunaan energi fosil semakin kecil. Sejalan dengan akan dibangunnya jalur sepeda bukan tidak mungkin konsep sepeda yang kami ciptakan ini bisa untuk berbelanja di supermarket, minimarket, pasar modern ataupun pasar tradisional yang cukup besar.

1.2 Perumusan Masalah

Prototyping SeliqUI Student Version (gambar 1.4) telah selesai dan dihasilkan sebuah *prototype* yang akan dikembangkan lagi dengan menambahkan *add on shopping cart* yang bisa disatukan dan dipisahkan dengan sepeda lipat ini..



Gambar 1. 4. Prototipe SeliqUI Student Version



Gambar 1. 5. Design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart

Shopping cart pada gambar 1.5 di design dengan mekanisme penggabungan yang praktis. Troli dan sepeda digabungkan dengan mekanisme rel sehingga troli belanja bisa disatukan langsung ke sepeda tanpa harus mengangkatnya. *add on shopping cart* ini juga mampu membawa beban belanjaan sampai 20 kg. Untuk bisa membuat *prototype addon shopping cart* maka dilakukan perhitungan secara teoritis maupun dengan *software*. Dari kedua hasil perhitungan di atas maka di dapat dimensi dan material yang di gunakan dalam proses *prototyping*.

Selanjutnya dilakukan proses produksi untuk membuat prototype tersebut. Alur penelitiannya sesuai gambar 1.7

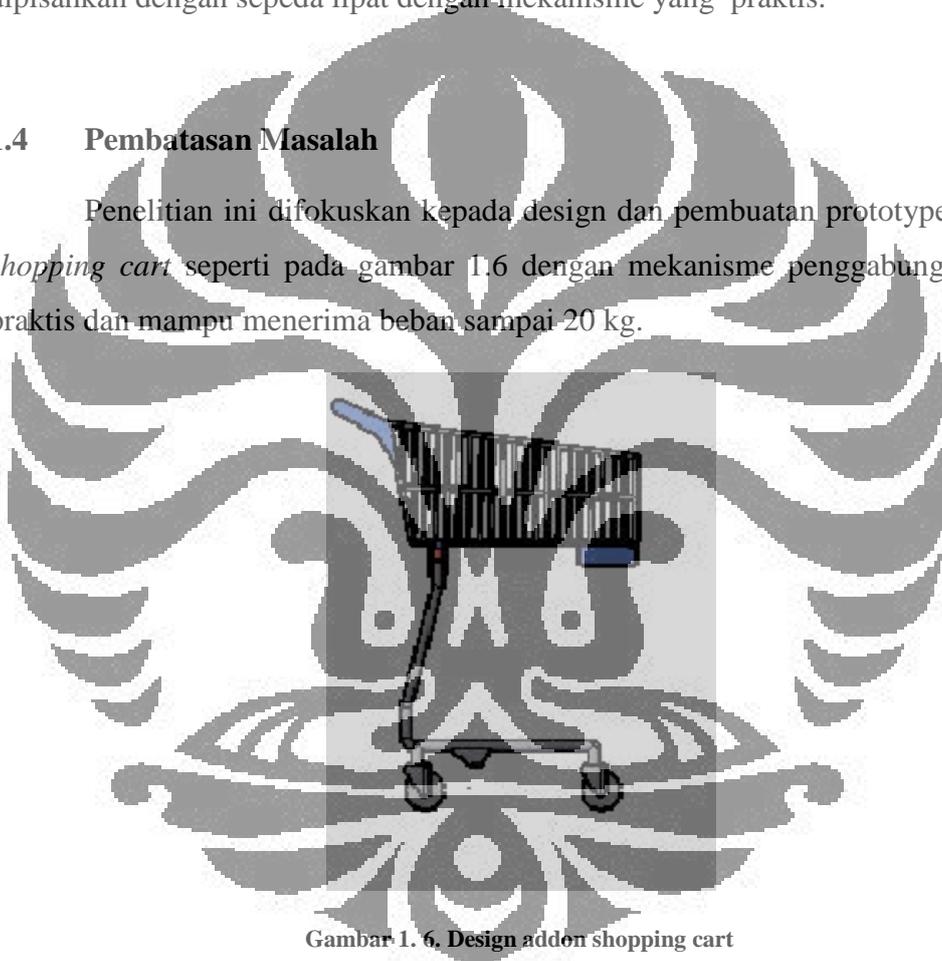
1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu :

Perancangan dan pembuatan *add on shopping cart* yang bisa disatukan dan dipisahkan dengan sepeda lipat dengan mekanisme yang praktis.

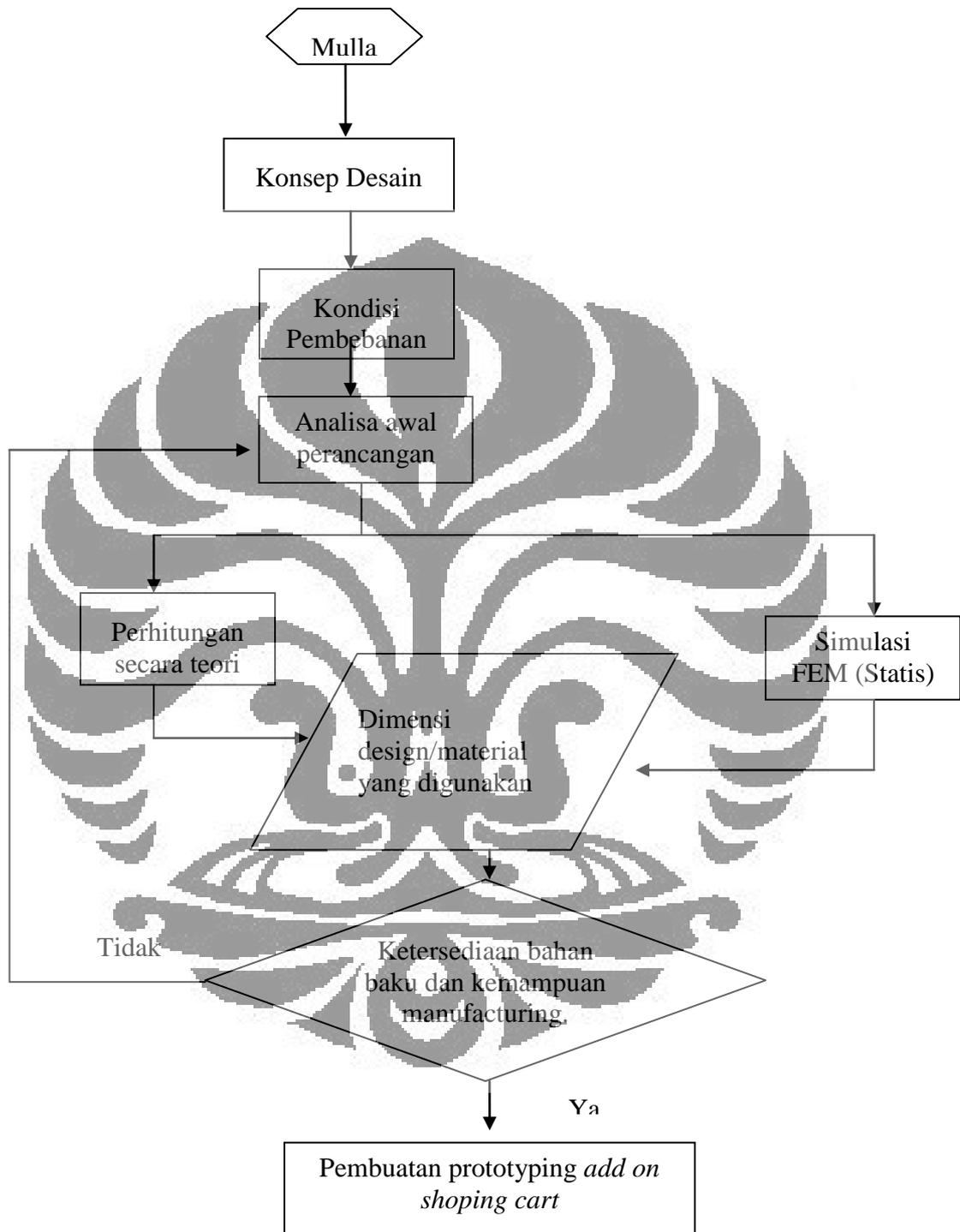
1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian ini difokuskan kepada design dan pembuatan prototype *add on shopping cart* seperti pada gambar 1.6 dengan mekanisme penggabungan yang praktis dan mampu menerima beban sampai 20 kg.



Gambar 1. 6. Design addon shopping cart

1.5 Metodologi penelitian



Gambar 1. 7. Bagan alur penelitian pembuatan shopping cart

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk membantu memudahkan pembaca dalam memahami isi laporan, maka sistematika penulisan yang dilakukan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

➤ BAB I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan tentang latar belakang diadakannya penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penyusunan laporan dan sistematika penulisan.

➤ BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori mengenai ilmu gaya dan gaya-gaya yang akan ditemui dalam pengujian. Bagian ini juga menjelaskan proses produksi prototype *add on shopping cart*.

➤ BAB III. PERHITUNGAN

Bab ini berisi hasil perhitungan desain *add on shopping cart* yang diperoleh dari perhitungan teoritis dan juga FEM.

➤ BAB IV. PROSES PRODUKSI

Bab ini berisi proses produksi prototype *add on shopping cart*.

➤ BAB VI. ANALISA DAN KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang analisis dan kesimpulan dari data yang akan diperoleh dari pengujian menggunakan FEM dan juga perhitungan secara teoritis dari design *add on shopping cart* yang akan di buat.

BAB 2. DASAR TEORI

2.1. Beban, Tegangan, dan Regangan

2.1.1. Teori Material

Banyak material yang terdapat di sekitar kita, dan telah menjadi bagian dari pola berpikir manusia bahkan telah menyatu dengan keberadaan kita. Apakah hakikat bahan atau material itu? Bahan dengan sendirinya merupakan bagian dari alam semesta, secara terperinci bahan adalah benda yang dengan sifat-sifatnya yang khas dimanfaatkan dalam bangunan, mesin, peralatan atau produk. Seperti : logam, keramik, semikonduktor, polimer, gelas, dielektrik serat, kayu, pasir, batu berbagai komposit dan lain-lain.

Secara mekanik karakteristik material (*material properties*) yang harus diperhatikan dalam proses produksi adalah kekuatan (*strength*), ketangguhan (*toughness*), kelenturan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), elastisitas (*elasticity*), kemampuan lelah (*fatigue*), dan keretakan (*creep*). Material yang memiliki sifat mekanik dan terkena gaya akan mengalami deformasi. Regangan (*strain*), ϵ adalah besar deformasi persatuan panjang dan tegangan (*stress*), σ adalah gaya persatuan luas. Selama deformasi bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang jarak deformasi. Kekuatan (*strength*) adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan. Keuletan (*ductility*) dikaitkan dengan besar regang permanen sebelum perpatahan, sedang ketangguhan (*toughness*) dikaitkan dengan jumlah energi yang mampu diserap bahan sampai terjadi perpatahan.

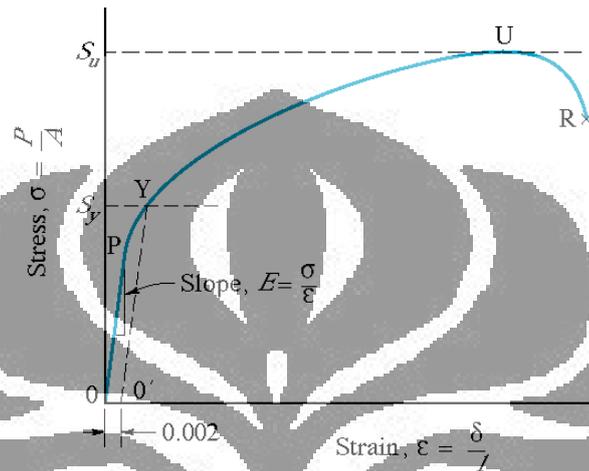
Gambar 2.1 menunjukkan pada saat terjadi deformasi regangan awal berbanding lurus dengan besarnya tegangan dan akan kembali ke bentuk semula setelah tegangan ditiadakan (regangan elastis). Pada saat kondisi tersebutlah berlaku hukum hooke yang menyatakan besarnya tegangan (*streess*) sebanding dengan perkalian modulus elastis (*Modulus Young*) dengan regangan (*strain*) yang terjadi.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots(2.1)$$

σ adalah tegangan bahan (N/m^2)

E adalah modulus elastisitas bahan (N/m^2)

ε adalah regangan dimana $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$



Gambar 2. 1. Diagram Tegangan vs Regangan untuk uji tarik ductile material

Pada gambar di atas ditunjukkan daerah yang masih dapat berlaku hukum hooke yaitu pada daerah elastik atau sebelum titik yield strength.

2.1.3. Klasifikasi Beban dan Kesepakatan Tanda

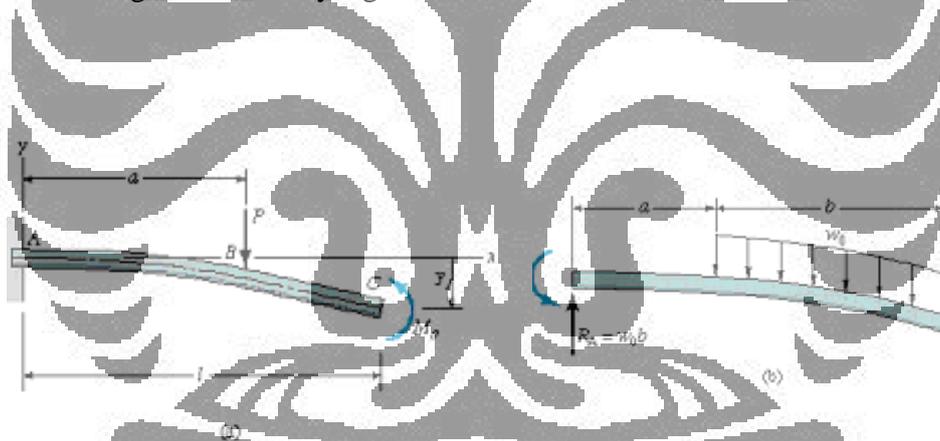
Setiap beban yang diaplikasikan dapat diklasifikasikan dengan hubungannya terhadap waktu menjadi beberapa jenis yaitu:

1. *Static Load* → Beban yang diaplikasikan pada suatu lokasi dengan kondisi dimana keseimbangan tercapai dan waktunya relatif singkat, tidak ada efek dinamis
2. *Sustained Load* → Beban yang terkandung, contohnya berat dari struktur itu sendiri dimana terjadinya konstan terhadap waktu
3. *Impact Load* → Beban yang diaplikasikan secara cepat dan tiba-tiba, biasanya dipengaruhi pula oleh energi hasil impak terhadap struktur

4. *Cyclic Load* → Beban yang bervariasi dan juga berulang yang memiliki karakteristik periode terhadap waktu

Beban juga dapat diklasifikasikan menurut area dimana dia diaplikasikan. Gambar 2.2 menunjukkan klasifikasi pemberian beban tersebut.

1. *Concentrated Load* → Beban yang diaplikasikan terkonsentrasi pada area yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan luas permukaan keseluruhan area. Contohnya beban yang diaplikasikan pada area yang luasnya 100 kali lebih kecil dari permukaan secara keseluruhan, maka dapat dianggap beban diapikasi pada titik di permukaan tersebut.
2. *Distributer Load* → Beban yang diaplikasikan tersebar melingkupi suatu area. Sebagai contoh yaitu beban dari berat lantai jembatan marmer dengan ketebalan yang uniform

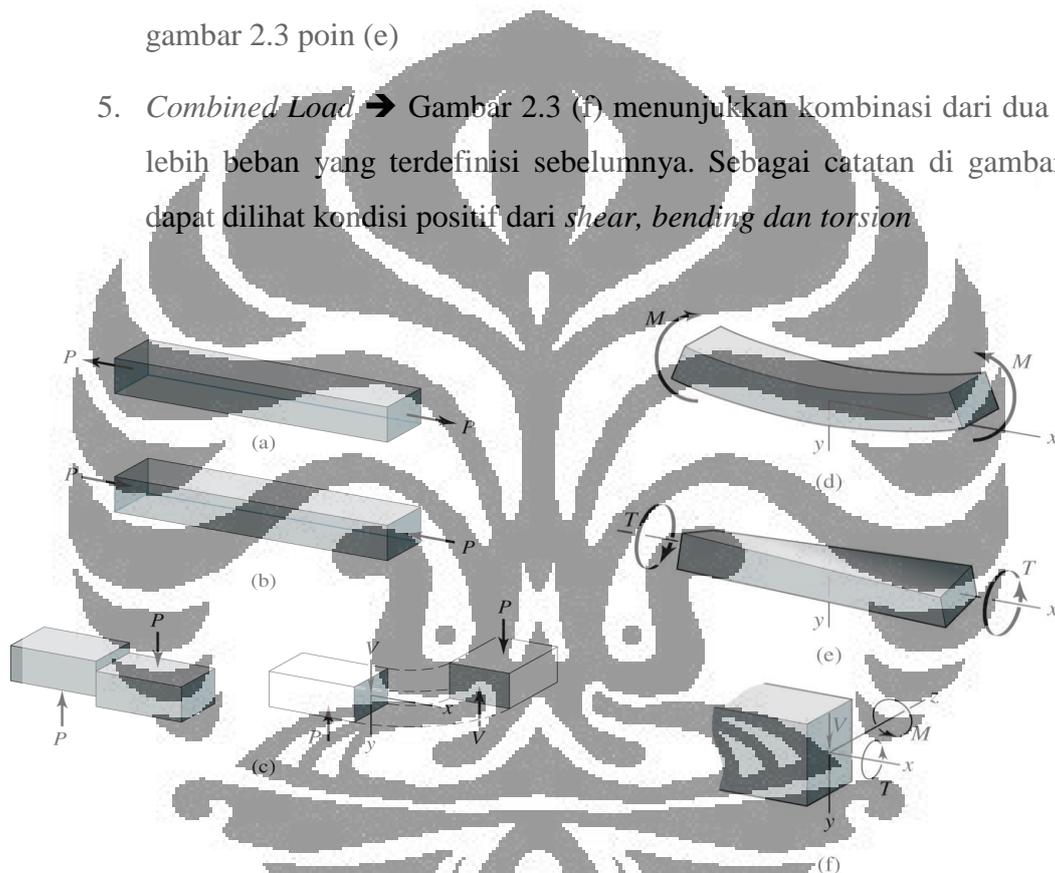


Gambar 2. 2. (a) Concentrated Load; (b) Distributed Load

Beban juga dapat diklasifikasikan menurut lokasi dan metode aplikasinya. Selain itu kesepakatan arah dan kordinat juga penting untuk mempresentasikan beban yang diaplikasikan. Berdasarkan lokasi dan metode aplikasinya beban dibagi menjadi:

1. *Normal Load* → Beban yang searah dengan sumbu benda, kesepakatan tandanya yaitu mengalami tarik atau pemuluran maka nilainya positif sedangkan mengalami tekan atau pemendekan maka nilainya negatif. Lihat gambar 2.3 poin (a) dan (b)

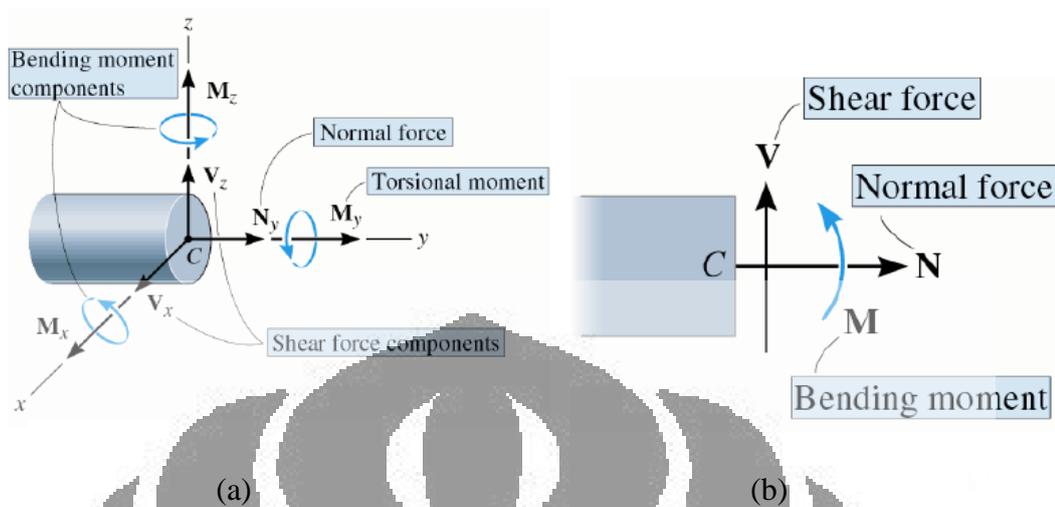
2. *Shear Load* → Beban yang mengakibatkan pergeseran bidang pada benda yang menumpunya. Lihat gambar 2.3 poin (c)
3. *Bending Load* → Beban yang diaplikasikan tertransfer tegak lurus dengan sumbu longitudinal. Ini dipengaruhi oleh momen yang diberikan pada benda. Lihat gambar 2.3 poin (d)
4. *Torsion Load* → Beban diberikan dengan gerakan memutar benda yang mengakitkannya menjadi terpuntir. Torsi positif dapat dilihat pada gambar 2.3 poin (e)
5. *Combined Load* → Gambar 2.3 (f) menunjukkan kombinasi dari dua atau lebih beban yang terdefinisi sebelumnya. Sebagai catatan di gambar ini dapat dilihat kondisi positif dari *shear*, *bending* dan *torsion*



Gambar 2. 3. Beban diklasifikasikan menurut lokasi dan metode aplikasinya

(a) *normal,tensile*; (b) *normal,compressive*; (c) *shear*; (d) *bending*; (e) *torsion*; (f) kombinasi
(sumber:*Fundamentals of Machine Element*, Hamrock)

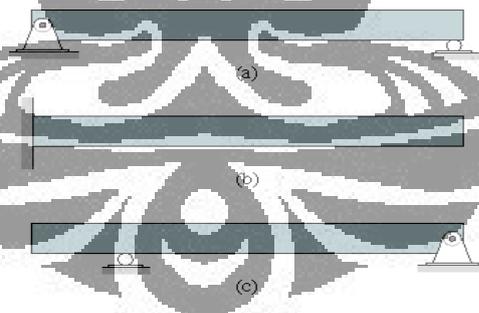
Gambar 2.4 berikut adalah contoh kondisi dan pengaplikasian gaya pada batang



Gambar 2. 4. (a)Komponen tiga dimensi;(b)komponen dua dimensi
 Gambar 2.4. (sumber: *Fundamentals of Machine Element*, Hamrock)

2.1.4. Reaksi Tumpuan

Reaksi dari gaya diterima oleh tumpuan, dan jenis tumpuan berpengaruh terhadap karakteristiknya dalam menerima gaya. Bila diaplikasikan pada suatu batang, kombinasi tumpuan yang mungkin dapat ditemui antara lain adalah seperti gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5. Tiga tipe tumpuan pada batang. (a) Simply supported; (b) cantilevered; (c) overhanging

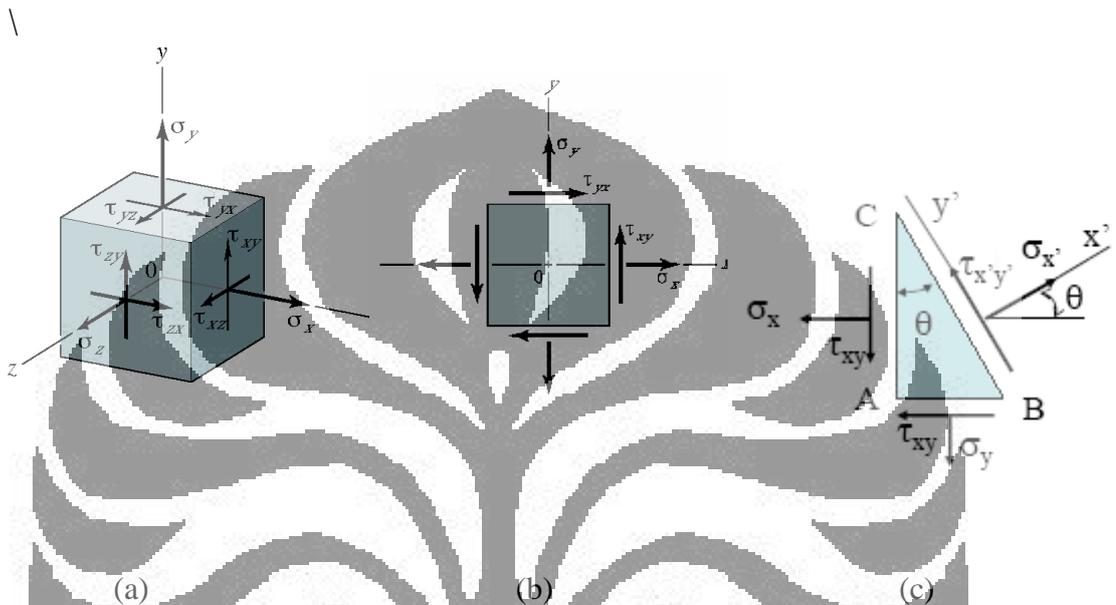
Untuk menghitung besarnya gaya tumpuan kita dapat memanfaatkan kondisi kesetimbangan skalar dimana rumusnya yaitu:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_O = 0 \end{cases} \dots\dots\dots 2.2$$

Dengan memanfaatkan kaidah kesetimbangan tersebut maka kita dapat menghitung besarnya reaksi tumpuan yang terjadi.

2.1.5. Bidang Tegangan

Secara umum kondisi yang dialami sebuah benda terhadap gaya yang diterimanya digambarkan oleh gambar 2.6 berikut :



Gambar 2. 6. Kondisi Tegangan

- (a) kondisi umum dari tegangan tiga dimensi dengan titik origin di pusat benda;
- (b) penampang bidang dua dimensi; (c) tegangan pada bidang yang ditransformasikan sebesar sudut θ

Principal Normal Stress atau nilai maksimum dan minimum dari *normal stress* dapat diketahui menggunakan

$$D(\sigma_{x'})_{\max}^{\min} = \sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots 2.3$$

$$\tau_{x'y'} = 0 \dots\dots\dots 2.4$$

Principal Shear Stress atau nilai maksimum dan minimum dari *shear stress* dapat diketahui menggunakan

$$\tau_{\max/\min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots 2.5$$

Dalam kondisi ini maka

$$\sigma' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \dots\dots\dots 2.6$$

Bila *principal stress* diketahui, maka nilai *normal* dan *shear stress* untuk bidang yang mengalami kemiringan dengan sudut θ dapat dihitung menggunakan

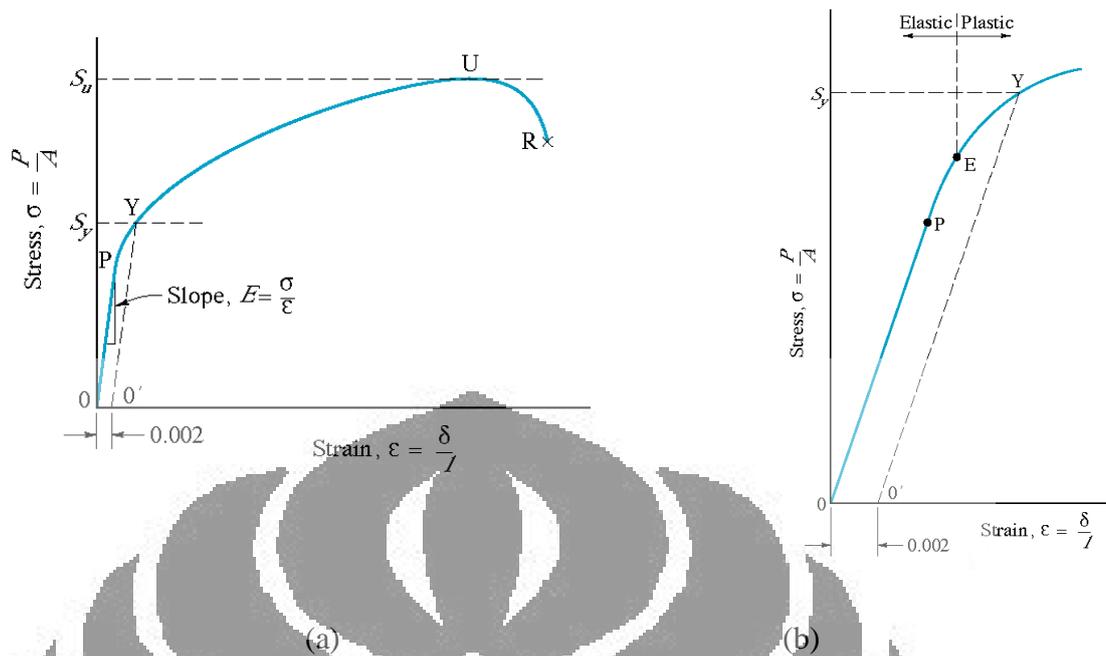
$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta \dots\dots\dots 2.7$$

$$\tau_\theta = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta \dots\dots\dots 2.8$$

2.2. Hubungan Tegangan-Regangan

2.2.1. Grafik Tegangan vs Regangan

Hubungan tegangan dan regangan seringkali digambarkan dalam grafik tegangan vs regangan, grafik ini dapat menjadi gambaran karakteristik suatu material. Grafik dapat diperoleh dengan menggambarkan stress (σ) pada sumbu y dan strain (ϵ) pada sumbu x. Sehingga akan diperoleh grafik seperti gambar 2.7 berikut:



Gambar 2. 7. Grafik Stress vs Strain

(a) grafik untuk material *ductile*

(b) grafik untuk material *brittle*

Dalam grafik stress-strain dikenal dua jenis grafik, yaitu grafik *true stress-strain* dan grafik *engineering stress-strain*. Perbedaan antara keduanya adalah pada definisi luas permukaan (A) yang dijadikan pembagi terhadap gaya untuk mendapatkan besaran stress. Pada grafik *engineering stress-strain* nilai A dianggap sama dengan A mula-mula, sehingga rumus tegangannya adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots 2.9$$

Sedangkan pada grafik *true stress-strain* perubahan luas pada setiap perubahan gaya yang diberikan diperhitungkan, sehingga rumusnya menjadi sebagai berikut

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \dots\dots\dots 2.10$$

2.2.2. Modulus Elastisitas/Modulus Young

Modulus Elastisitas adalah kemiringan atau gradien dari area linier pada kurva tegangan-regangan (lihat gambar 2.10 (a)). Sesuai dengan Hukum Hooke, Modulus Elastisitas (E) dirumuskan sebagai berikut

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots 2.11$$

Nilai E berbeda-beda untuk tiap jenis material, dan menjadi salah satu properties dari material

2.2.3. Yield Strength

Yield Strength (S_y) adalah tingkat stress yang dibutuhkan untuk memulai terjadinya deformasi plastis. Apabila tegangan yang diterima suatu material telah melewati *Yield Strength*-nya maka deformasinya bukan lagi deformasi elastis melainkan akan mengalami deformasi plastis. Besarnya *Yield Strength* dapat dilihat pada kurva stress-strain, yaitu pada bagian dimana penambahan regangan tidak lagi linier dengan penambahan tegangan (lihat gambar 2.10), perubahan ini mungkin dapat mudah dilihat pada material *ductile* atau liat, namun pada material *brittle* atau getas agak sulit dilihat. Untuk itu pada material getas digunakan metode *offset*, yaitu dengan membuat garis yang sejajar dengan garis linier sejauh 0,2% atau 0,002. Perpotongan kurva dengan garis *offset* itulah nilai *Yield Strength*-nya.

2.2.4. Ultimate Tensile Strength (UTS)

Ultimate Tensile Strength adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material. Apabila beban atau tegangan yang diberikan melebihi UTS, pada material *brittle* akan langsung terjadi *fracture*, dan pada material *ductile* akan mulai mengalami proses *necking*

2.3. Bending, Transverse Shear Stresses dan Strains

2.3.1. Pusat Benda (Centroid of Area/Center of Gravity)

Centroid of area atau center of gravity adalah pusat massa dari benda. Dimana secara matematik digambarkan dengan persamaan:

$$\int_A (y - \bar{y})dA = 0 \dots\dots\dots 2.12$$

$$\int_A (x - \bar{x})dA = 0 \dots\dots\dots 2.13$$

Sehingga kordinat pusat massanya adalah:

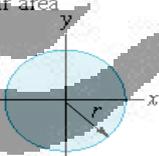
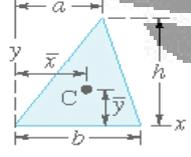
$$\bar{y} = \frac{\int y.dA}{\int_A dA} = \frac{\int y.dA}{A} = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \dots\dots\dots 2.14$$

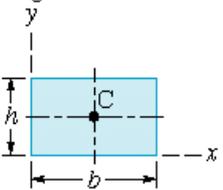
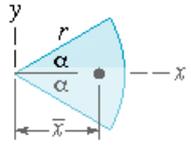
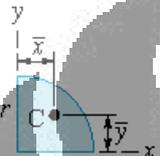
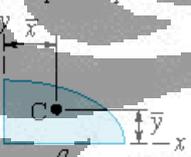
$$\bar{x} = \frac{\int x.dA}{\int_A dA} = \frac{\int x.dA}{A} = \frac{A_1 \bar{x}_1 + A_2 \bar{x}_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots} \dots\dots\dots 2.15$$

2.3.2. Daerah Momen Inertia (*Area Moment of Inertia*)

Area momen inertia atau dapat juga disebut momen kedua dari area, dimana momen pertama dihubungkan dengan centroid atau pusat massa. Tabel 2.8 menunjukkan beberapa Centroid, area moment of inertia dan area untuk beberapa cross section. Persamaan yang menggambarkannya yaitu:

$$I_x = \int_A y^2 dA \quad \text{dan} \quad I_y = \int_A x^2 dA \dots\dots\dots 2.16$$

Cross section	Centroid	Area moment of inertia	Area
 <p>Circular area</p>	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = 0$	$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4}$ $I_y = I_x = \frac{\pi r^4}{4}$ $J = \frac{\pi r^4}{2}$	$A = \pi r^2$
 <p>Hollow circular area</p>	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = 0$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_i^4)$ $I_y = I_x = \frac{\pi}{4} (r^4 - r_i^4)$ $J = \frac{\pi}{2} (r^4 - r_i^4)$	$A = \pi (r^2 - r_i^2)$
 <p>Triangular area</p>	$\bar{x} = \frac{a+b}{3}$ $\bar{y} = \frac{h}{3}$	$I_x = \frac{bh^3}{12}, I_y = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{bh(b^2 + ab + a^2)}{12}$ $I_x = \frac{bh(b^2 - ab + a^2)}{36}$ $J = \frac{bh}{36} (b^2 + h^2)$	$A = \frac{bh}{2}$

Cross section	Centroid	Area moment of inertia	Area
	$\bar{x} = \frac{b}{2}$ $\bar{y} = \frac{h}{2}$	$I_x = \frac{bh^3}{3}, I_{\bar{x}} = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{3}, I_{\bar{y}} = \frac{hb^3}{12}$ $\bar{J} = \frac{bh}{12}(b^2 + h^2)$	$A = bh$
	$\bar{x} = \frac{2}{3} \frac{r \sin \alpha}{\alpha}$	$I_x = \frac{r^4}{4} (\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$ $I_y = \frac{r^4}{4} (\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$ $J = \frac{1}{2} r^4 \alpha$	$A = r^2 \alpha$
	$\bar{x} = \bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$	$I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{16}$ $I_{\bar{x}} = I_{\bar{y}} = (\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}) r^4$ $J = \frac{\pi r^4}{8}$	$A = \frac{\pi r^2}{4}$
	$\bar{x} = \frac{4a}{3\pi}$ $\bar{y} = \frac{4b}{3\pi}$	$I_x = \frac{\pi ab^3}{16}, I_{\bar{x}} = (\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}) ab^3$ $I_y = \frac{\pi a^3 b}{16}, I_{\bar{y}} = (\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}) a^3 b$ $J = \frac{\pi ab}{16} (a^2 + b^2)$	$A = \frac{\pi ab}{4}$

Tabel 2. 1. Centroid, area moment of inertia dan area untuk beberapa cross section

(Sumber: *Fundamentals of Machine Element*, Hamrock)

2.3.3. Normal Stress

Tegangan (stress) adalah gaya persatuan luas yang terjadi pada sebuah komponen. Gaya yang diberikannya adalah tegak lurus dengan luasan penampang yang diberikan gaya. Tegangan dirumuskan sebagai:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.17$$

σ = tegangan (N/m² atau Pa)

P = gaya atau beban yang mengenai permukaan benda (N).

A = luasan area dari permukaan benda (m²).

Regangan (*strain*) adalah besarnya deformasi (perubahan dimensi material) per panjang awal dari material. Regangan dapat dirumuskan sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\delta l}{l} \text{ atau } \delta l = \varepsilon \cdot l \dots\dots\dots 2.18$$

keterangan: ε = regangan.

δl = perubahan panjang pada benda.

l = panjang awal dari benda.

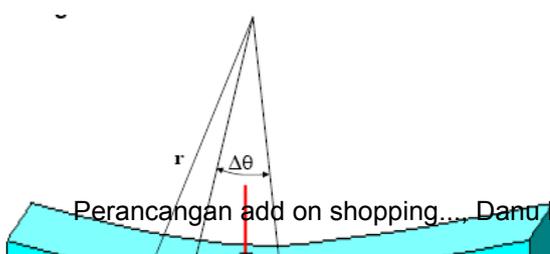
2.3.4. Bending Stress dan Strain

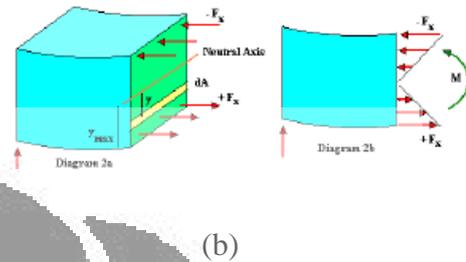
Bending sangat diperhitungkan dalam mendesain berbagai bentuk dan rancangan. Dalam aplikasinya pertimbangan yang diambil seringkali juga mempertimbangkan efek deformasi dari bending sebagai pertimbangan yang signifikan. Dalam pembahasan ini ada beberapa asumsi yang diterapkan yaitu:

1. Penampang melintang adalah simetris dalam bidang yang dibebani (terhadap sumbu y)
2. material padat yang digunakan sebagai batang terbuat secara seragam dan memiliki elastisitas yang linier

Material yang mengalami bending akan mengakibatkan bagian atasnya mengalami tekanan atau compression yang juga berakibat pada pemendekan. Sedangkan pada bagian bawahnya akan mengalami penarikan atau tensile yang mengakitkannya mengalami pemuluran. Gambar 2.8 menunjukan gambaran suatu batang jika dikenai bending.

Bending Stress pada Batang Lurus





Gambar 2. 8. Bending Stress

(a) Bending pada batang lurus; (b) penampang melintang bending pada berbagai jarak y dari netral axis

(sumber: Slide pengajaran Mech Design DTM FT UI)

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta s - \Delta x}{\Delta x}$$

$$\Delta x = r\Delta\theta$$

$$\Delta s = (r + y)\Delta\theta$$

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{(r + y)\Delta\theta - r\Delta\theta}{r\Delta\theta} = \frac{y}{r}$$

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} = \frac{y/r}{c/r}$$

$$\epsilon = \frac{y}{c} \epsilon_{\max} \dots\dots\dots 2.19$$

$$\sigma = \frac{y}{c} \sigma_{\max} \dots\dots\dots 2.20$$

dengan menghitung momen maka dapat diperoleh besarnya stress maximum yaitu sebesar:

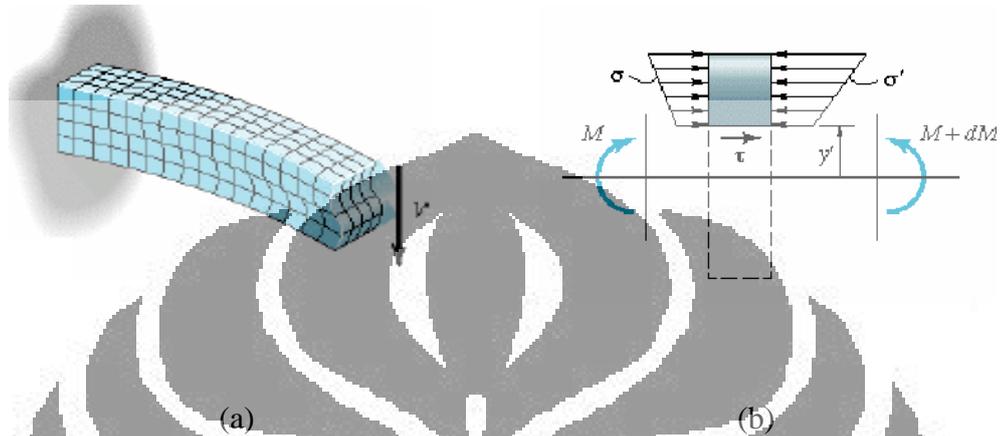
$$M = \int_A y dP = \int_A y \sigma dA = \frac{\sigma_{\max}}{c} \int_A y^2 dA$$

$$\therefore \sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots 2.21$$

Sehingga stress pada setiap jarak y adalah: $\sigma = \frac{My}{I}$ 2.22

2.3.5. Transverse Shear Stress

Gambar 2.10 menunjukkan proses terjadinya shear stress.



Gambar 2. 9. Shear Stress

(a) Proses terjadinya shear stress; (b) penampang melintang menunjukkan arah transverse shear stress

(sumber:Slide pengajaran Mech.Design DTM-FT UI)

$$\tau = \frac{dF}{dx t} = \frac{dM \bar{A}y}{dx I t} \quad \text{and} \quad \frac{dM}{dx} = V$$

maka:

$$\tau = \frac{V \bar{A}y}{I t} \quad \text{atau} \quad \tau = \frac{VQ}{I t} \quad \dots\dots\dots 2.23$$

dimana:

V = shear maksimum yang dapat diperoleh dari diagram V

A = luas penampang melintang

y = jarak dari neutral axis ke pusat area A

I = momen of inertia

t = lebar dari penampang melintang yang mengalami shear

2.4 Distortion Energy Theory

Distortion energy theory atau dikenal dengan criteria von mises adalah sebuah postulat untuk memprediksi kegagalan yang disebabkan energy elastic yang berhubungan dengan deformasi geser (shear deformation). Theory ini hanya berlaku untuk material ductile dan memprediksi yield dibawah pembebanan kombinasi dengan tingkat kekakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan teori kegagalan yang lain.

Von mises dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \dots \dots \dots 2.24$$

Dimana σ_1 dan σ_2 adalah principal stress.

2.5 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Didefinisikan sebagai besarnya perbandingan antara batas stress yang di injinkan (berdasarkan material) dengan besarnya stress yang dibuat pada desain.

$$n_s = \sigma_{all} / \sigma_d = S_y / \sigma_e \dots \dots \dots 2.25$$

σ_{all} = allowable normal stress, Pa

σ_d = design normal stress, Pa

S_y = yield strenght

σ_e = von mises

2.6 Metode Elemen Hingga

Solusi matematik exact dari bentuk dan pembebanan yang kompleks sangat sulit diselesaikan dan dalam banyak kasus hampir tidak dapat diselesaikan. Selanjutnya solusi dari mekanika solid hanya digunakan dalam bentuk dan pembebanan yang sederhana. Metode elemen hingga pada dasarnya adalah sebuah pendekatan numerik untuk menyelesaikan permasalahan. Untuk itu digunakan metode ini dalam memprediksi banyak daerah dari struktural kompleks dalam

pembebanan umum. Metode elemen hingga juga dapat dengan mudah digunakan untuk struktur yang memiliki jumlah komponen yang besar.

Dalam menyelesaikan permasalahan bentuk struktur yang kompleks metode elemen hingga membagi domain menjadi jumlah terhingga dari elemen yang lebih kecil/meshing (finite elemen). Pada setiap pojok dari elemen-elemen yang lebih kecil yang terhubung satu sama lain disebut node. Elemen yang lebih kecil ini dipilih untuk mempresentasikan kembali karakteristik dari sistem. Elemen satu dan lainnya dihubungkan oleh node-node tersebut. Nilai dari setiap node baik berupa displacement untuk struktur, pressure untuk fluida, atau temperatur untuk perpindahan panas diidentifikasi. Idennya adalah untuk membuat sebuah set persamaan aljabar dengan nilai-nilai tersebut berdasarkan persamaan dari setiap node. Lalu kemudian diikuti dengan perhitungan numerik untuk mendapatkan penyelesaian (misal dengan metode eliminasi Gaussian), yang dalam kasus ini adalah nilai dari displacement, temperatur atau nilai-nilai lain dari setiap nodal.

2.7 Proses Pemesinan

Proses pemesinan merupakan proses lanjutan dalam pembentukan benda kerja atau mungkin juga merupakan proses akhir setelah pembentukan logam menjadi bahan baku berupa besi tempa atau baja paduan atau dibentuk melalui proses pengecoran yang dipersiapkan dengan bentuk yang mendekati kepada bentuk benda yang sebenarnya.

Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibentuk melalui proses pemesinan biasanya memiliki bentuk profil berupa bentuk dan ukuran yang telah distandarkan misalnya, bentuk bulat "O", segi empat, segi enam "L", "I" "H" dan lain-lain. Bahan benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki bentuk yang bervariasi sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran ini telah direncanakan dan dianalisis sedemikian rupa sehingga jika benda kerja menghendaki bentuk akhir melalui proses pemesinan tertentu sebagaimana diinformasikan pada gambar kerja, maka bagian ini telah dipersiapkan. Oleh karena itu, gambar kerja merupakan dokumen penting yang menjadi acuan dalam

pelaksanaan proses produksi mulai penerimaan bahan baku hingga penyerahan produk kepada pemakai dan sebagai dasar pertanggung jawaban terhadap kualitas dari produk tersebut.

2.7.1. Proses Pemesinan Dengan Mesin Milling (Frais)

Pengerjaan logam dalam dunia *manufacturing* ada beberapa macam, mulai dari pengerjaan panas, pengerjaan dingin hingga pengerjaan logam secara mekanis.

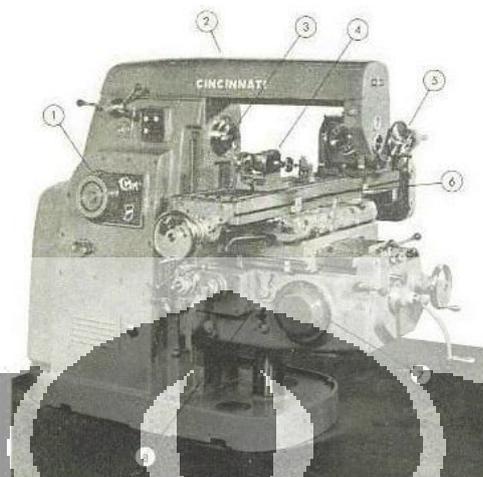
Pengerjaan mekanis logam biasanya digunakan untuk pengerjaan lanjutan maupun pengerjaan *finishing*, sehingga dalam pengerjaan mekanis dikenal beberapa prinsip pengerjaan, salah satunya adalah pengerjaan perataan permukaan dengan menggunakan mesin Frais atau biasa juga disebut mesin *Milling*.

Mesin frais adalah salah satu mesin perkakas yang secara khusus digunakan untuk membentuk bidang datar pada benda kerja, dengan berbagai kelengkapannya mesin frais memiliki fungsi yang sangat kompleks dan beragam antara lain membentuk bidang datar, lurus (*linear*), radius, alur, roda gigi dan lain-lain hingga benda-benda yang memiliki bentuk tidak beraturan. Sebagaimana pada mesin perkakas pada umumnya, mesin frais membentuk benda kerja melalui proses penyayatan dengan menggunakan alat potong (*tool*) yang beraneka ragam baik jenis maupun bentuknya sesuai dengan fungsi pengerjaan yang akan dilakukan. Yang berbeda dari mesin ini dibandingkan dengan mesin bubut yang telah diuraikan diatas ialah dimana penyayatan dilakukan oleh gerakan alat potong.

Mesin frais yang umum digunakan, jika dilihat dari jenisnya dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

- a. Mesin Frais horizontal
 - b. Mesin Frais Vertical dan
 - c. Mesin Frais Universal
1. Mesin *Milling* Horizontal

Mesin *milling* jenis ini digunakan untuk melakukan pemotongan benda kerja dengan arah mendatar.



Keterangan :

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1 r.p.m. indikator | 5 Dividing head |
| 2 Over arm support | 6 Work tabel |
| 3 Spindle | 7 Feed Indikator |
| 4 Center for dividing head | 8 Knee |

Gambar 2. 10. Mesin Frais universal

(sumber www.crayonpedia.org)

Gambar 2.11 memperlihatkan salah satu bentuk mesin frais pada posisi kerja horizontal dimana mesin frais ini memiliki kedudukan pisau (cutter) pada posisi horizontal. Mesin frais seperti yang terlihat pada gambar 2.11 sebenarnya adalah mesin frais universal (universal milling machines), karena tidak terdapat mesin yang khusus horizontal, namun mesin universal ini dilengkapi dengan peralatan yang dapat mengubah posisi kerja dari mesin itu sendiri

2. Mesin *Milling* Vertikal

Kebalikan dengan mesin *milling* horizontal, pada mesin *milling* ini pemasangan *spindel*-nya pada kepala mesin adalah vertikal, pada mesin *milling* jenis ini ada beberapa macam menurut tipe kepalanya, ada tipe kepala tetap, tipe kepala yang dapat dimiringkan dan tipe kepala bergerak. Kombinasi dari dua tipe kepala ini dapat digunakan untuk membuat variasi pengerjaan pengefraisan dengan sudut tertentu.



Gambar 2. 11. Mesin Frais Vertikal
(sumber www.crayonpedia.org)

Gambar 2.12 ialah mesin frais vertical dimana spindlenya berada pada posisi vertical. kedudukan cutternya didudukan pada spindlenya dengan bentuk yang berbeda dengan yang digunakan dalam pengefraian horizontal (tentang pisau frais akan dibahas pada uraian lebih lanjut). Benda kerja didukan diatas meja mesin dengan berbagai alat pemegang (holder).

Ketiga jenis mesin frais diatas dapat digolongkan sebagai mesin frais konvensional, sementara itu dewasa ini berkembang mesin perkakas yang dikontrol secara numeric dengan menggunakan computer (Computer Numerically Controlled/ CNC), seperti yang terlihat pada gambar 2.13. Sistem kerja dan fungsi kerja dari mesin frais CNC sebenarnya sama, hanya saja untuk fungsi kerja menyudut dan fungsi kerja radius mesin konvensional memerlukan kelengkapan tersendiri seperti rotary tabel, dividing head dan lain-lain, atau merubah posisi meja mesin pada kemiringan yang dikehendaki, seperti terdapatnya fixed angular tabel, inclinable universal tabel dan lain-lain, sedangkan pada mesin frais yang dikontrol secara numeric oleh sistem komputer dapat dilakukan dengan kombinasi gerakan pada tiga sumbu, yakni sumbu X (memanjang), Y (melintang) dan sumbu Z (Vertical).



Gambar 2. 12. Mesin Frais Universal CNC

(sumber www.crayonpedia.org)

2.8 Las Busur

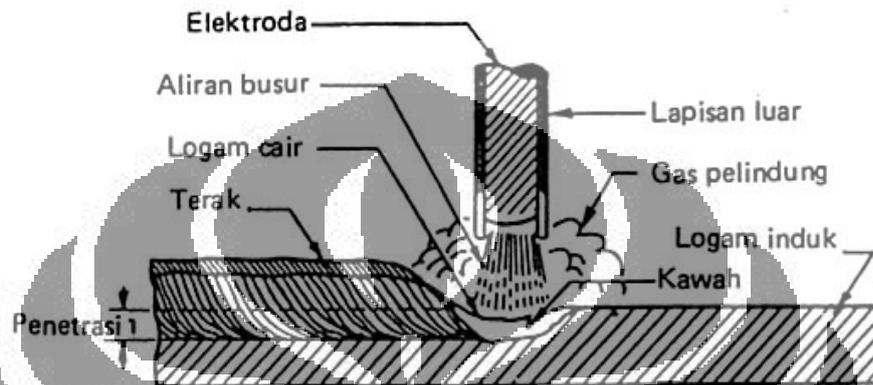
Pengelasan busur adalah pengelasan dengan memanfaatkan busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja. Elektroda dipanaskan sampai cair dan diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las. Mula-mula elektroda kontak/bersinggungan dengan logam yang dilas sehingga terjadi aliran arus listrik, kemudian elektroda diangkat sedikit sehingga timbullah busur. Panas pada busur bisa mencapai 5.500 °C.

Las busur bisa menggunakan arus searah maupun arus bolak-balik. Mesin arus searah dapat mencapai kemampuan arus 1000 amper pada tegangan terbuka antara 40 sampai 95 Volt. Pada waktu pengelasan tegangan menjadi 18 sampai 40 Volt. Ada 2 jenis polaritas yang digunakan yaitu polaritas langsung dan polaritas terbalik. Pada polaritas langsung elektroda berhubungan dengan terminal negatif sedangkan pada polaritas terbalik elektroda berhubungan dengan terminal positif.

Jenis bahan elektroda yang banyak digunakan adalah elektroda jenis logam walaupun ada juga jenis elektroda dari bahan karbon namun sudah jarang digunakan. Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi pada logam yang dilas sehingga jenis bahan elektroda harus disesuaikan dengan jenis logam yang dilas. Untuk las biasa mutu lasan antara arus searah dengan arus bolak-balik tidak jauh berbeda, namun polaritas sangat berpengaruh terhadap mutu lasan.

Kecepatan pengelasan dan keserbagunaan mesin las arus bolak-balik dan arus searah hamper sama, namun untuk pengelasan logam/pelat tebal, las arus bolak-balok lebih cepat.

Skema las busur bisa dilihat pada gambar 2.14.. dibawah ini.



Gambar 2. 13. Skema nyala busur

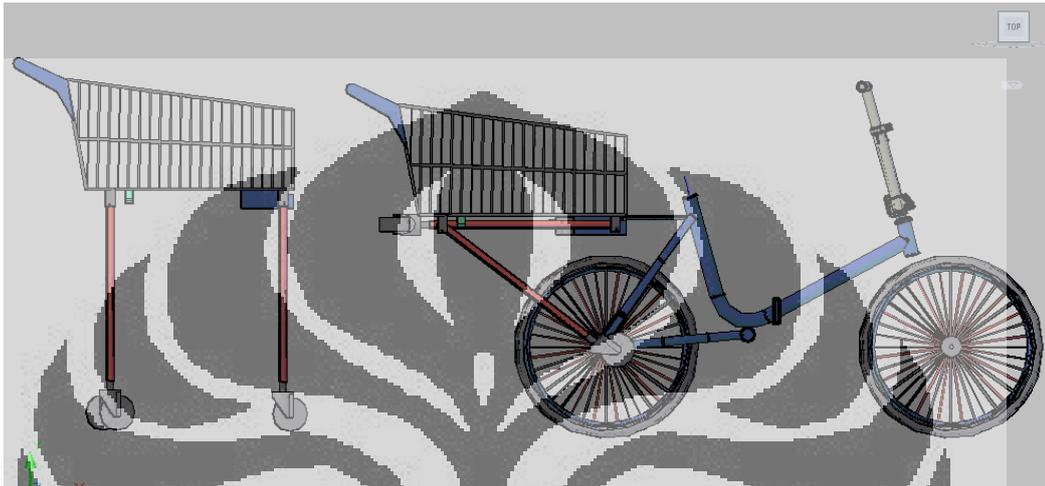
(sumber www.pdf-doc.net)

Elektroda yang digunakan pada pengelasan jenis ini ada 3 macam yaitu : *elektroda polos*, *elektroda fluks* dan *elektroda berlapis tebal*. Elektroda polos adalah elektroda tanpa diberi lapisan dan penggunaan elektroda jenis ini terbatas antara lain untuk besi tempa dan baja lunak. Elektroda fluks adalah elektroda yang mempunyai lapisan tipis fluks, dimana fluks ini berguna melarutkan dan mencegah terbentuknya oksida-oksida pada saat pengelasan. Kawat las berlapis tebal paling banyak digunakan terutama pada proses pengelasan komersil.

BAB 3. PERHITUNGAN

3.1 Desain-desain awal

Pada penelitian ini, *shopping cart* yang dirancang akan digabungkan atau disatukan dengan sepeda lipat. Design awal *shopping cart* yang akan dibuat adalah sesuai gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1. desain 1 shopping cart

Shopping cart ini di desain dengan mekanisme penggabungan system rel. Kaki troli tersusun dari empat batang hollow tegak.

Desain yang kedua adalah sesuai gambar 3.2 berikut:

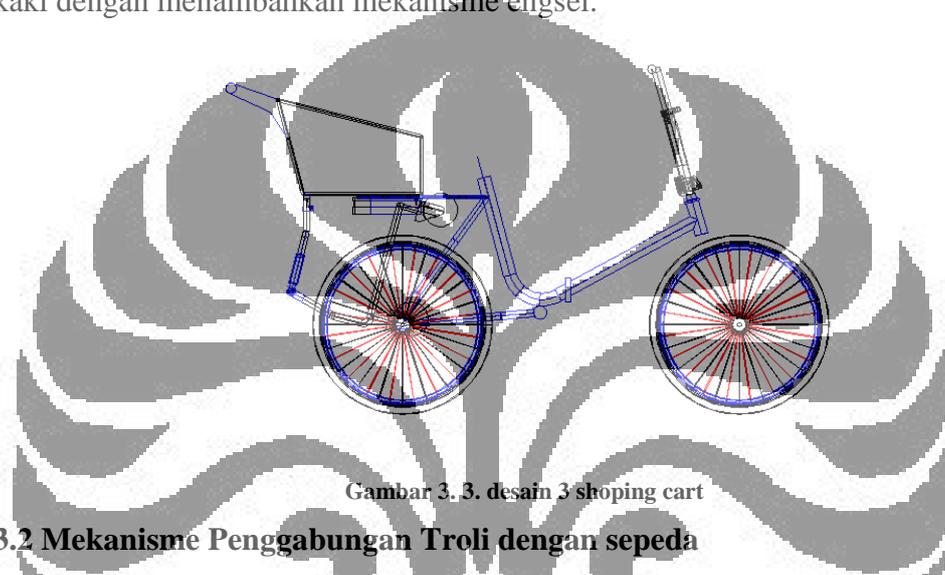


Gambar 3. 2. desain 2 shopping cart

Pada desain yang kedua ini, keranjang di topang oleh 2 tiang penyangga. Mekanisme pelipatan kaki pada desain kedua ini lebih praktis, karena hanya dengan melipatnya satu kali, sedangkan untuk desain yang pertama kita perlu

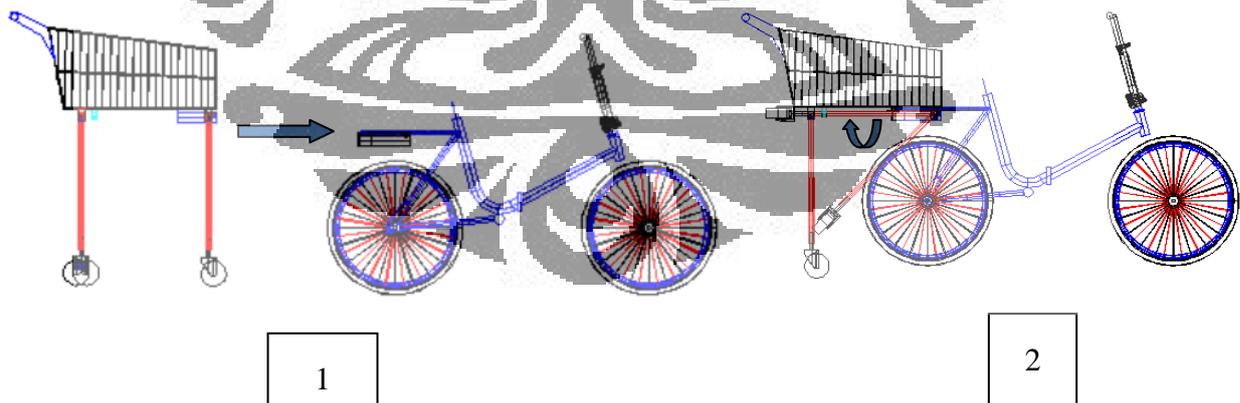
melipat kakinya satu persatu. Mekanisme penyambungan pada desain kedua ini sama dengan desain pertama, yaitu dengan menggunakan system rel.

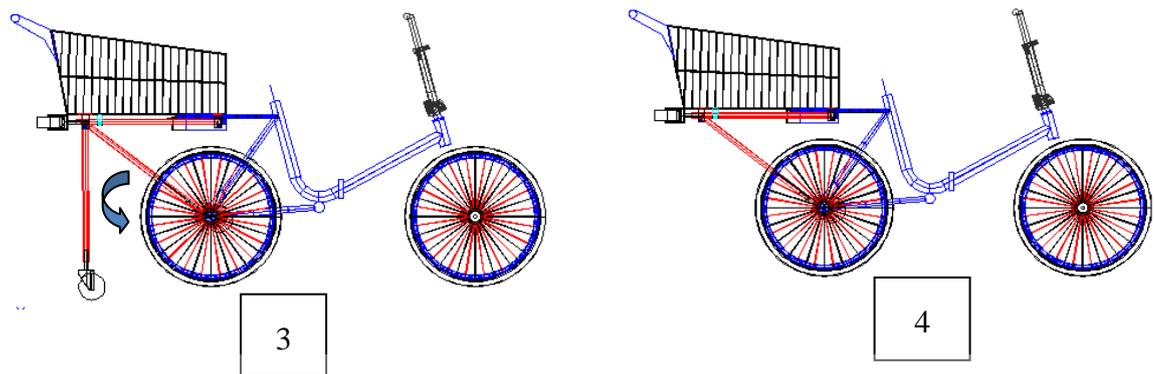
Desain yang ketiga mirip dengan desain kedua, namun pada desain ketiga ini ditambahkan mekanisme engsel pada rangka kakinya untuk mendapatkan dimensi lipatan kaki yang baru. Pada desain yang kedua, saat kaki troli dilipat ternyata mengganggu pengendara saat mengayuh pedal sepeda. Untuk mengatasi hal tersebut maka pada desain ke tiga ini pelipatan kakinya dilakukan pada batang kaki dengan menambahkan mekanisme engsel.



3.2 Mekanisme Penggabungan Troli dengan sepeda

3.2.1 Mekanisme penggabungan rancangan 1



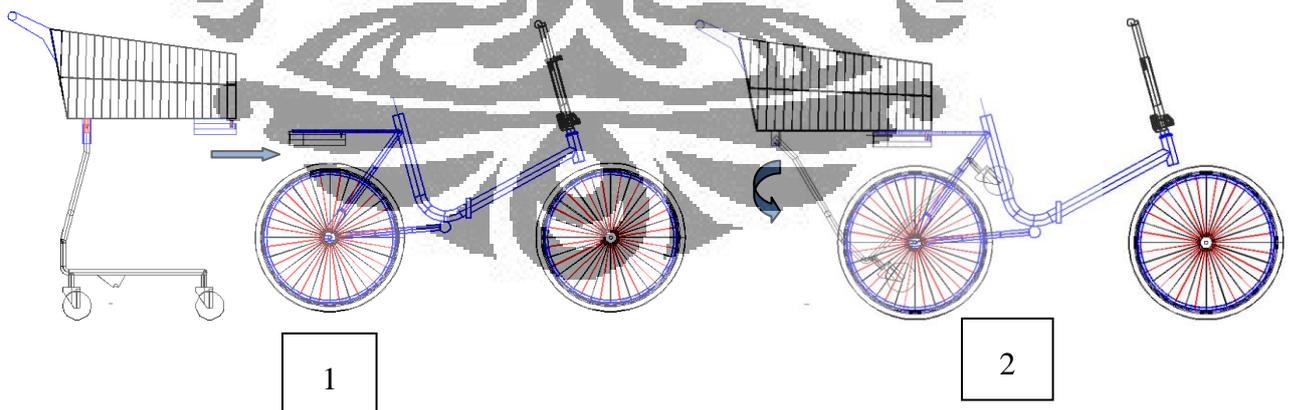


Gambar 3. 4. Mekanisme penggabungan rancangan 1

Prosedur penggabungan :

- 1) Gabungkan troli dengan sepeda dengan memasukan rel ke pasanganya dan menguncinya
- 2) Melipat kaki troli depan kearah belakang dengan melepas pengunci kaki terlebih dahulu.
- 3) Melipat kaki troli belakang kearah depan, dilanjutkan dengan mengaitkan pengait yang ada pada roda troli dengan jalu sepeda.
- 4) Lakukan hal yang sama (langkah 3) pada kaki belakang yang satunya sehingga terbentuk lipatan seperti gambar 3.1 diatas.

3.2.2 Mekanisme penggabungan rancangan 2



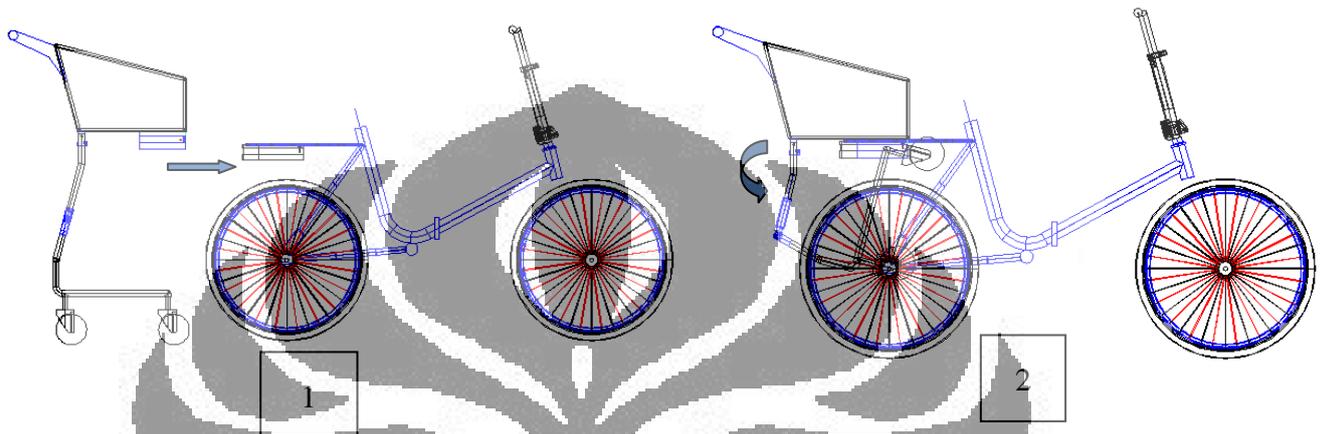
Gambar 3. 5. Mekanisme penggabungan rancangan 2

Prosedur penggabungan :

- 1) Gabungkan troli dengan sepeda dengan memasukan rel ke pasanganya dan menguncinya

- 2) Melipat kaki troli ke arah depan dengan melepas pengunci kaki terlebih dahulu, dilanjutkan dengan mengaitkan pengait yang ada pada roda troli dengan jalu sepeda.

3.2.3 Mekanisme penggabungan rancangan 3



Gambar 3. 6. Mekanisme penggabungan rancangan 3

Prosedur penggabungan :

- 1) Gabungkan troli dengan sepeda dengan memasukan rel ke pasanganya dan menguncinya
- 2) Melipat kaki troli ke arah depan dengan melepas pengunci kaki terlebih dahulu, dilanjutkan dengan mengaitkan pengait yang ada pada roda troli dengan jalu sepeda.

3.3. Pertimbangan desain dan pemilihan desain akhir troli

Untuk dapat memilih salah satu dari ketiga desain troli yang ada, langkah berikutnya adalah melakukan analisa pertimbangan desain (design consideration) terhadap berbagai macam kriteria yang diinginkan dari troli tersebut nantinya yaitu:

- a) Analisa kepraktisan penggabungan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat *add on shopping cart* yang bisa disatukan dan dipisahkan dengan sepeda lipat dengan mekanisme yang praktis. Tingkat kepraktisan penggabungan

dan pelipatan dicerminkan dari jumlah proses atau aktifitas yang dilakukan dalam proses tersebut. Pada desain yang pertama proses penggabungan dilakukan dengan 4 proses, sedangkan untuk desain kedua dan ketiga dilakukan dengan 2 proses. Pada desain kedua terjadi kesalahan desain, setelah kaki troli dilpat ternyata mengganggu pengendara saat mengayuh pedal sepeda, untuk itu dilakukan penyempurnaan dengan membuat desain ketiga.

b) Mekanisme tautan

Mekanisme tautan dari ketiga desain yang dirancang adalah sama, yaitu dengan menggunakan mekanisme rel. Sempat terjadi beberapa perubahan pada desain pengunci mekanisme rel tersebut, yang akhirnya dipilih pengunci yang dapat menghilangkan toleransi dari mekanisme rel tersebut, sehingga terjadi kesetabilan yang cukup baik.

c) Ergonomy

Ketinggian troli belanja untuk orang Indonesia yang ergonomis adalah 92-100 cm, untuk desain yang kedua memiliki ketinggian 107 cm sehingga kurang nyaman saat digunakan. Desain ketiga memiliki ketinggian 97 cm dan itu masih dalam kategori ergonomis bagi orang Indonesia.

d) Kesetabilan

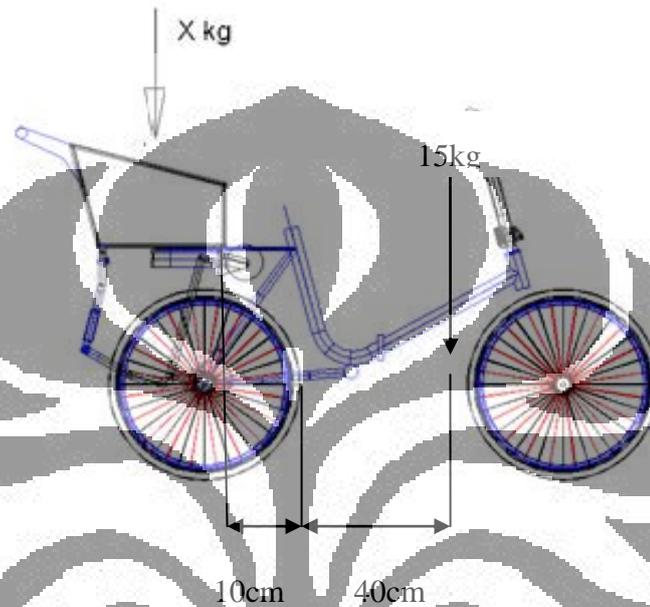
Troli yang akan di buat diharapkan mampu membawa beban sampai 20 kg dan berat troli tidak lebih dari 12 kg. Jarak terjauh troli dari standar sepeda tidak lebih dari 30 cm. Dari ketiga desain tersebut, yang memenuhi kriteria diatas adalah desain yang ketiga, karena desain pertama dan kedua memiliki berat lebih dari 12 kg.

Bedasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas akhirnya desain ke 3 terpilih dikarenakan troli tersebut memiliki rancangan yang paling baik dari segi kepraktisan penggabungan, kesetabilan maupun keergonomisanya.

3.4 Perhitungan

3.4.1 Perhitungan faktor kesetabilan

Untuk kesetabilan sepeda di gabungkan dengan troli di dapat beban maksimum troli dan beban belanjanya adalah maximum 40 kg, angka ini di dapat dari persamaan sebagai berikut :



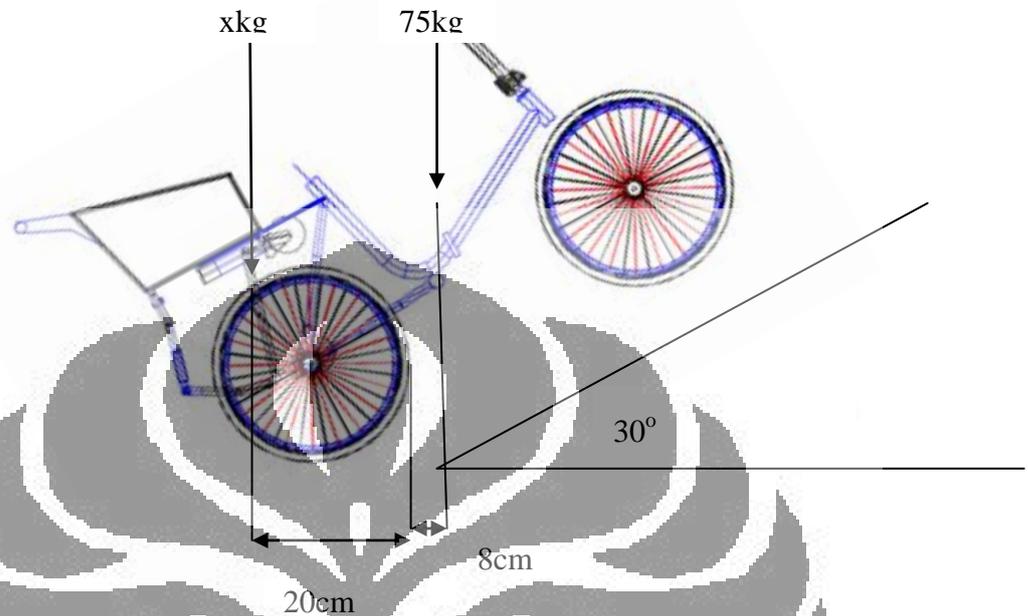
Gambar 3. 7. kesetabilan sepeda pada posisi di standar tanpa penumpang dan akan digabungkan dengan troli

Dari gambar 3.7 didapat persamaan :

$$(Massa troli+massa belanjaan) \cdot 15 = Massa sepeda \cdot 40$$

$$x \text{ kg} \cdot 10 = 15 \cdot 40$$

$$x = 60 \text{ kg}$$



Gambar 3. 8. kesetabilan sepeda pada saat dinaiki dan melewati tanjakan

Pada waktu sepeda melewati tanjakan (tanjakan ekstrim sebesar 30°) seperti yang terlihat di gambar 3.8, maka akan terjadi pergeseran pusat massa seperti gambar di atas. Dalam keadaan tersebut maka beban maksimum agar sepeda tidak terbalik adalah 30 kg (didapat dari persamaan di bawah).

$$x \cdot 20 = 75 \cdot 8$$

$$x = 30 \text{ kg}$$

Dengan mempertimbangkan kestabilan di atas, maka troli yang akan dibuat prototipenya di design mampu menerima beban belanjaan sampai 20 kg. Dengan asumsi berat *add on shopping cart* rancangan saya kurang lebih 10 kg.

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada bagian – bagian design troli yang dianggap kritis akibat pembebanan 20 kg tersebut.

3.4.2 Pengambilan Data

Data yang akan diambil adalah *safety factor* dari titik kritis masing – masing part dengan menggunakan kriteria von-mises baik secara teoritis maupun

dengan FEM. Parameter yang dapat diperoleh dari hasil pemodelan dengan menggunakan FEM salah satunya adalah von-mises stress. Kemudian nilai faktor keamanan didapatkan dengan membagi nilai yield strength material dibagi dengan nilai von mises. Hal ini dikarenakan material bersifat ductile jadi kriteria von mises lebih tepat untuk digunakan.

Rumus-rumus yang digunakan untuk mendapatkan hasil-hasil tersebut adalah:

1. Maksimum dan minimum *principal stress*

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_2 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

2. Von mises stress

$$\sigma_{max} = \sqrt{(\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

3. *Safety faktor*

$$n_s = \sigma_{all} / \sigma_d = S_y / \sigma_e$$

$$\sigma_{all} = \text{allowable normal stress, Pa}$$

$$\sigma_d = \text{design normal stress, Pa}$$

$$S_y = \text{yield strength}$$

$$\sigma_e = \text{von mises}$$

3.4.3 Perhitungan teoritis

3.4.3.1 Pembebanan pada pin sambungan kaki.

Secara teoritis kita bisa menggunakan teori von-mises. Dari reaksi tumpuan yang ada, didapat : $V_{max} = 65 \text{ N}$ dan $M_{max} = 1,95 \cdot 10^{-1} \text{ N}$

$0 < x \leq 3$	$3 < x \leq 23$	$23 < x \leq 26$
$\sum F_y = 0$	$\sum F_y = 0$	$\sum F_y = 0$
$-V - 6,5 = 0$	$6,5 - V - 6,5 = 0$	$6,5 + 6,5 - V - 6,5 = 0$
$V = -6,5$	$V = 0$	$V = 6,5$
$\sum M = 0$	$\sum M = 0$	$\sum M = 0$
$M + 6,5x = 0$	$M + 6,5x - 6,5(x - 3) = 0$	$M + 6,5x - 6,5(x - 3) - 6,5(x - 23) = 0$
$M = -6,5x$	$M = -19,5$	$M = 6,5x - 130$
$x = 0 \rightarrow M = 0$	$x = 3 \rightarrow M = -19,5$	$x = 23 \rightarrow M = -19,5$
$x = 3 \rightarrow M = -19,5$	$x = 23 \rightarrow M = -19,5$	$x = 26 \rightarrow M = 0$

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{1,95 \cdot 10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} (3 \cdot 10^{-3})^4}$$

$$\sigma = \frac{5,85 \cdot 10^{-4}}{63,6 \cdot 10^{-12}}$$

$$\sigma = 0,92 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 9,2 \text{ MPa}$$

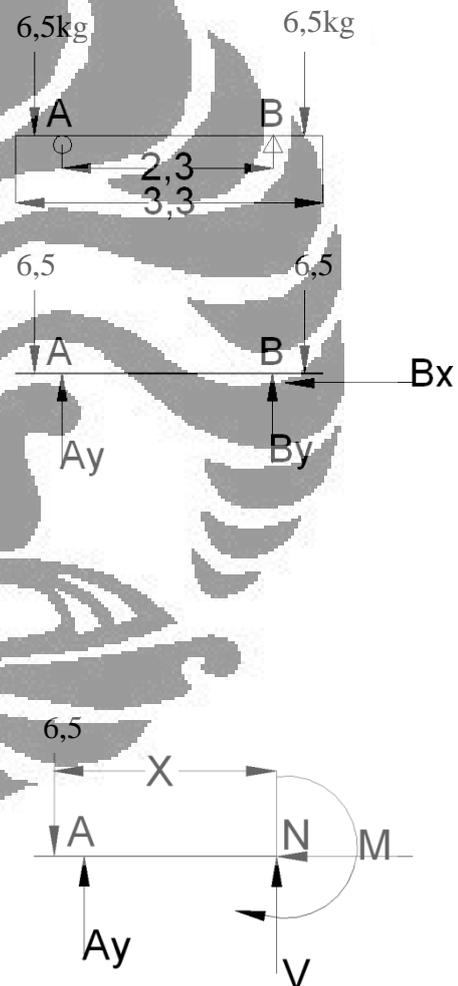
$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau = \frac{65 \cdot \pi \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} (3 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}$$

$$\tau = \frac{1755 \cdot 10^{-9}}{381,51 \cdot 10^{-15}}$$

$$\tau = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$\tau = 4,6 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{12} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{12} = \frac{9,2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{9,2}{2}\right)^2 + 4,6^2}$$

$$\sigma_{12} = 4,6 \pm 6,5$$

$$\sigma_1 = 11,1$$

$$\sigma_2 = -1,9$$

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{1/2}$$

$$\sigma_e = ((11,1)^2 + (-1,9)^2 - (11,1)(-1,9))^{1/2}$$

$$\sigma_e = (147,9)^{1/2}$$

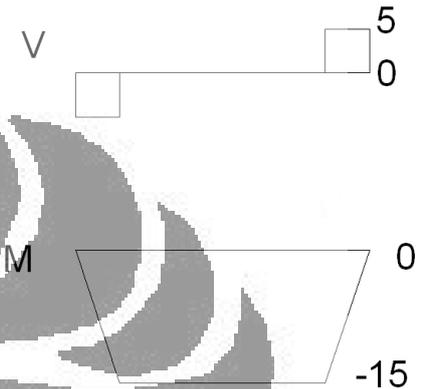
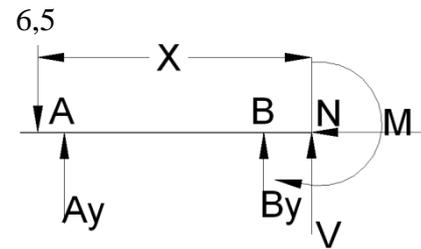
$$\sigma_e = 12,16 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

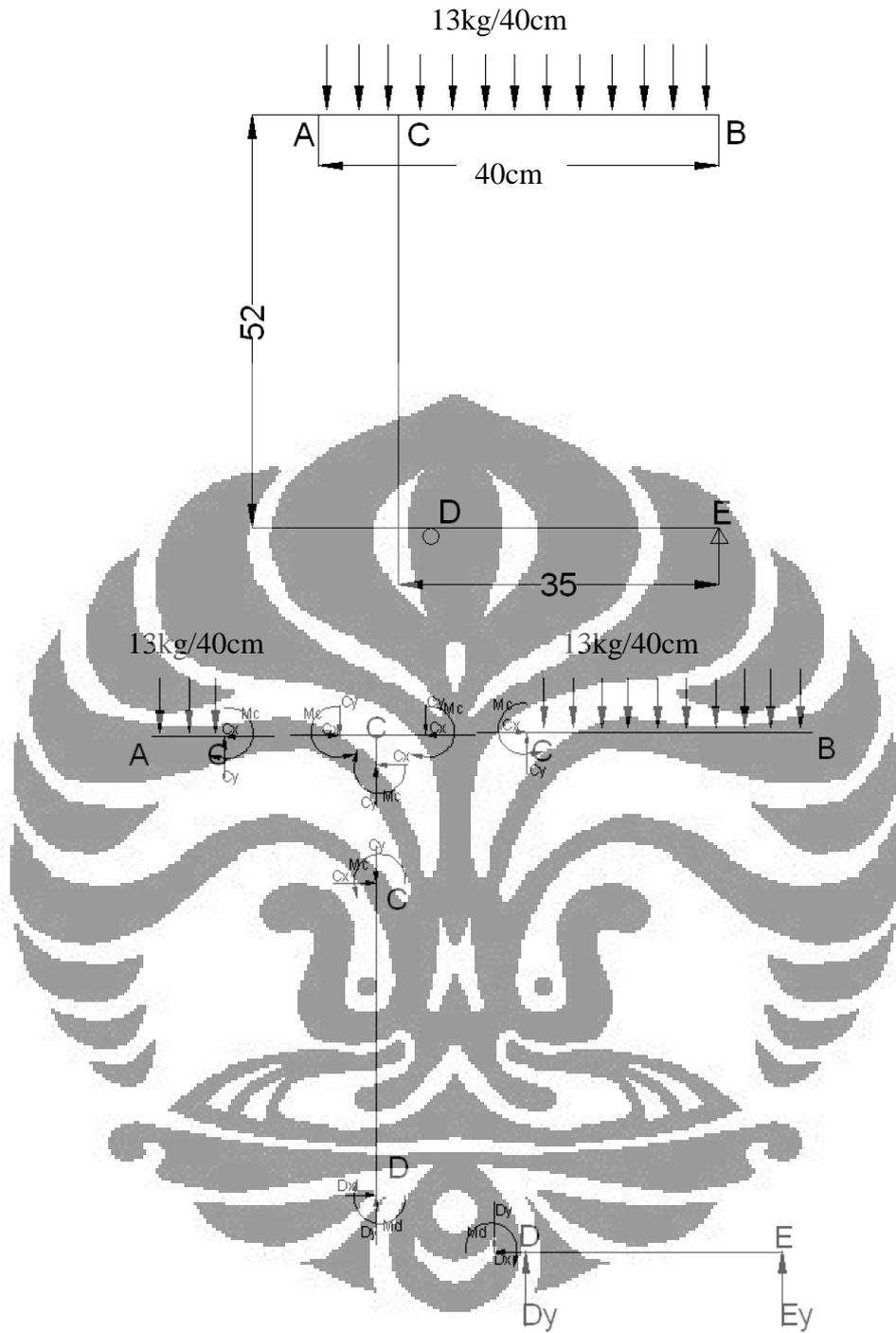
$$n_s = \frac{206}{9,3}$$

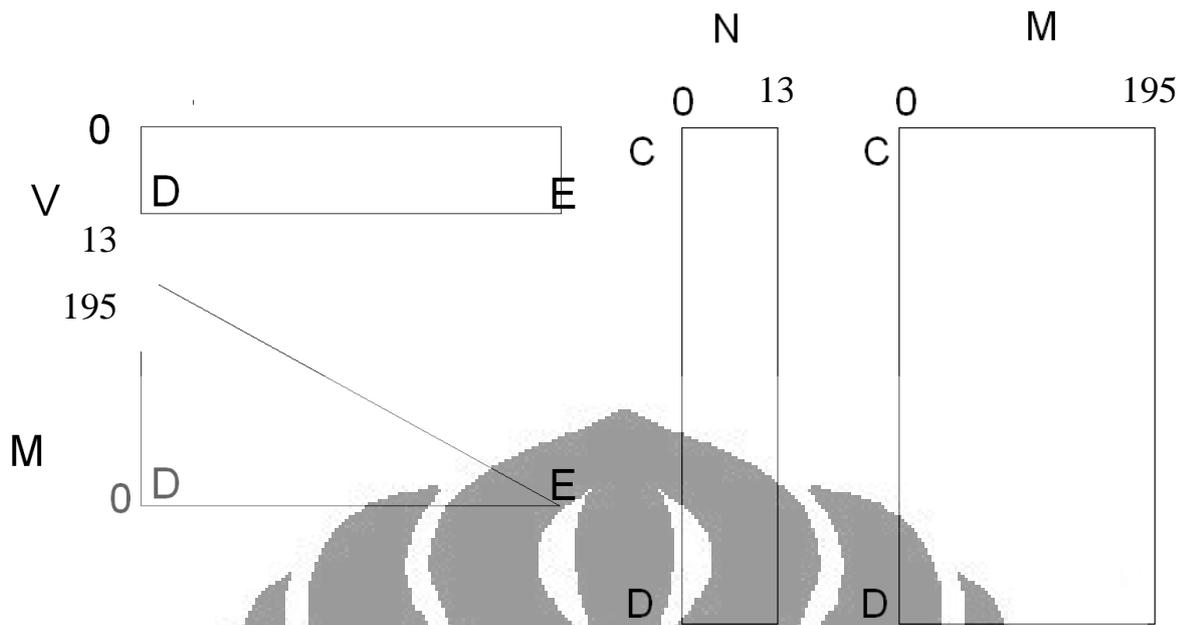
$$n_s = 22$$



3.4.3.2 Pembebanan pada rangka kaki.

Pada rangka kaki, permodelan pembebanannya seperti gambar 3. Berikut, Titik kritis terjadi di titik D dimana di titik tersebut terjadi moment (M) sebesar 19,5 N dan gaya gesernya sebesar 130N.





$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{19,5 \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{\frac{\pi}{4} \left[(1 \cdot 10^{-2})^4 - (0,84 \cdot 10^{-2})^4 \right]}$$

$$\sigma = \frac{19,5 \cdot 10^{-2}}{3,95 \cdot 10^{-9}}$$

$$\sigma = 4,94 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 49,4 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau = \frac{130 \cdot \pi \cdot \left[(1 \cdot 10^{-2})^2 - (0,84 \cdot 10^{-2})^2 \right] \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{\frac{\pi}{4} \left[(1 \cdot 10^{-2})^4 - (0,84 \cdot 10^{-2})^4 \right] \cdot 2 \cdot 10^{-3}}$$

$$\tau = \frac{120,3 \cdot 10^{-6}}{7,9 \cdot 10^{-12}}$$

$$\tau = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$\tau = 15,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{49,4}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{49,4}{2}\right)^2 + 15,2^2}$$

$$\sigma_{1,2} = 24,7 \pm 29$$

$$\sigma_1 = 53,7$$

$$\sigma_2 = -4,3$$

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{1/2}$$

$$\sigma_e = \left((53,7)^2 + (-4,3)^2 - (53,7)(-4,3) \right)^{1/2}$$

$$\sigma_e = (3133,3)^{1/2}$$

$$\sigma_e = 56 \text{ MPa}$$

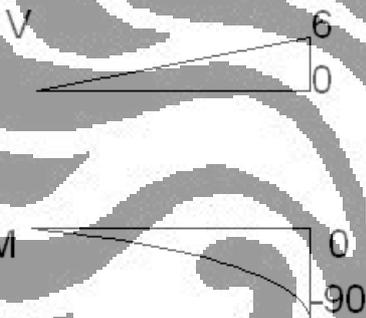
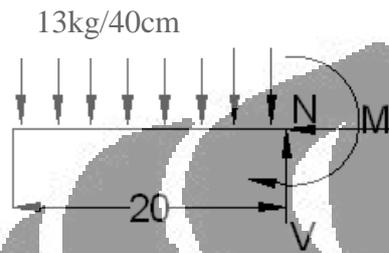
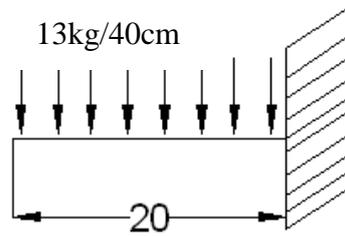
$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$n_s = \frac{206}{56}$$

$$n_s = 3,68$$

3.4.3.3 Pembebanan pada rel



Mekanisme rel ini mendapatkan moment terbesar di pangkalnya, yaitu sebesar 6,5 N, dan gaya gesernya sebesar 65 N.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{6,5 \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^3}$$

$$\sigma = \frac{6,5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-9}}$$

$$\sigma = 3,25 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 32,5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau = \frac{65 \cdot (0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-2}) \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}$$

$$\tau = \frac{65 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-12}}$$

$$\tau = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$\tau = 6,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{12} = \frac{32,5}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{32,5}{2}\right)^2 + 6,5^2}$$

$$\sigma_{12} = 16,25 \pm 17,5$$

$$\sigma_1 = 33,75$$

$$\sigma_2 = -1,25$$

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2}$$

$$\sigma_e = \left((33,75)^2 + (-1,25)^2 - (33,75)(-1,25) \right)^{1/2}$$

$$\sigma_e = (1182,8)^{1/2}$$

$$\sigma_e = 34,4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$n_s = \frac{206}{34,4}$$

$$n_s = 6$$

3.4.3.4 Pembebanan pada penopang troli

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{24,01 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot (1,2 \cdot 10^{-2})^3}$$

$$\sigma = \frac{144,06 \cdot 10^{-3}}{3,456 \cdot 10^{-9}}$$

$$\sigma = 41,68 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 41,68 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau = \frac{87,3 \cdot (2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2}) \cdot 0,6 \cdot 10^{-2}}{2,4 \cdot 10^{-2} \cdot (1,2 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}$$

$$\tau = \frac{150,85 \cdot 10^{-6}}{0,518 \cdot 10^{-11}}$$

$$\tau = 29 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau = 29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{12} = \frac{41,68}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{41,68}{2}\right)^2 + 29^2}$$

$$\sigma_{12} = 20,84 \pm 35,71$$

$$\sigma_1 = 56,55$$

$$\sigma_2 = -14,87$$

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2}$$

$$\sigma_e = \left((58,36)^2 + (-16,68)^2 - (58,36)(-16,68) \right)^{1/2}$$

$$\sigma_e = (4657,56)^{1/2}$$

$$\sigma_e = 68,25 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{n_s}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

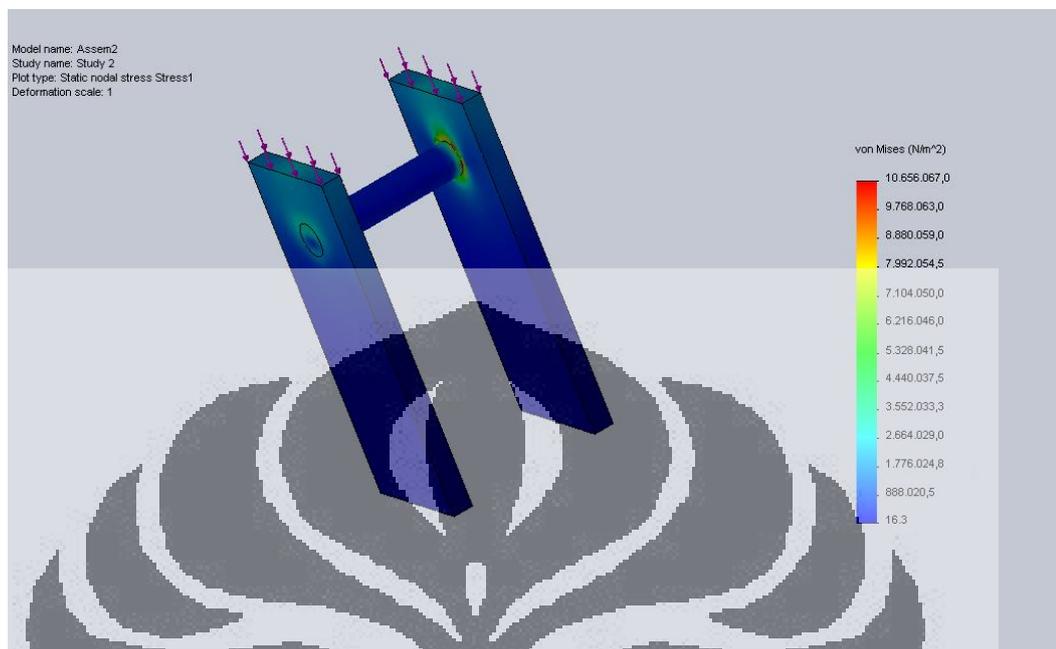
$$n_s = \frac{206}{68,25}$$

$$n_s = 3$$

3.4.4 Hasil FEM

3.4.4.1 FEM pin sambungan kaki

Yang pertama adalah pembebanan pada pin sambungan kaki. Material pin ini adalah steel dengan yield strength 206 Mpa. pin tersebut menerima *normal stress* sebesar 100 N. Hasil analisa FEM akibat pembebanan tersebut di dapat *von-misses stress* sebesar 10,8 Mpa,

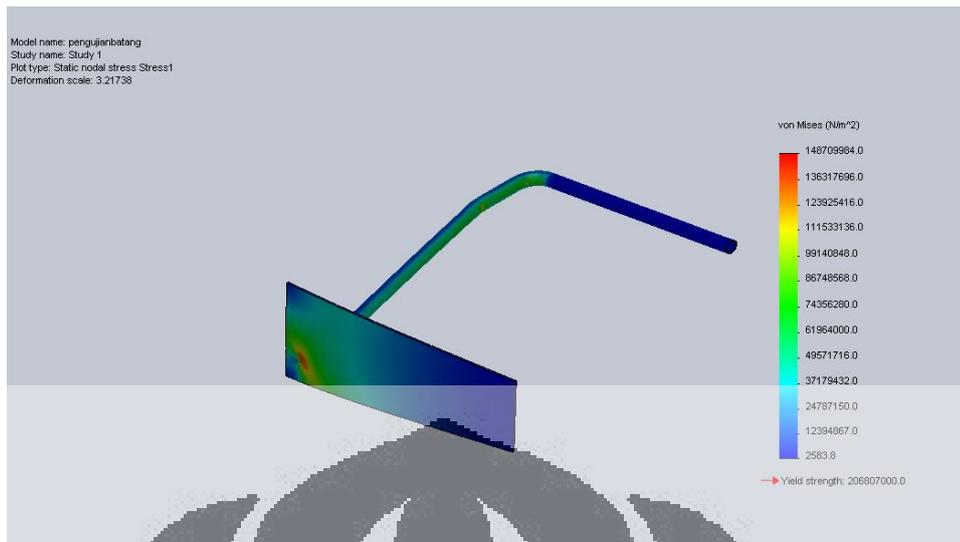


Gambar 3. 9. Plot kontur dari von-misses stress pin sambungan kaki

Dari perhitungan di atas didapat factor keamanan sebesar 18,9 untuk perhitungan menggunakan FEM.

3.4.4.2 Pembebanan pada rangka kaki.

Untuk pembebanan rangka kaki disimulasikan seperti gambar 3.10 di bawah. Tegangan terbesar pada rangka kaki terletak di lekukan rangka bawah. di daerah tersebut menunjukkan kisaran von- misses stress sebesar 61 Mpa – 74 Mpa, yaitu digambarkan dengan warna kontur yang hijau.



Gambar 3. 10. Plot kontur dari *von-misses stress* rangka kaki

Pada rangka kaki ini ,factor keamananya sebesar 3, 18 untuk hasil FEM.

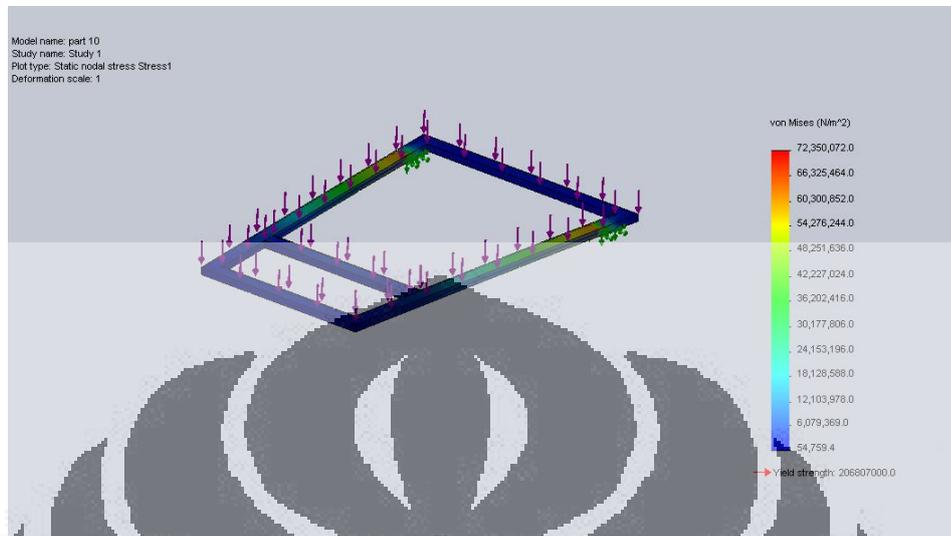
3.4.4.3. Pembebanan pada rel



Gambar 3. 11. Plot kontur dari *von-misses stress* rel

Pada mekanisme rel, tegangan maksimum yang terjadi cukup besar, itu dikarenakan beban bending yang cukup besar. V_{max} yang terjadi sebesar 65 N dan Momenya sebesar 6,5 N. Perhitungan FEM menunjukkan *von-misses stress* sebesar 32-36 MPa. Pada sistem rel ini ,factor keamananya sebesar 6 untuk hasil FEM.

3.4.4.4 Pembebanan pada penopang troli



Gambar 3. 12. Plot kontur dari *von-mises stress* penopang troli

BAB 4. PROSES PRODUKSI

4.1 Proses pembuatan *addon shopping cart*

Shopping cart ini di design untuk bisa digabungkan dengan mudah ke sepeda. Mekanisme penggabungan dari troli ini adalah dengan system rel, untuk itu rel tersebut harus di dibuat sepresisi mungkin.

4.1.1 Alat – alat yang digunakan untuk pembuatan shopping cart

4.1.1.1 Mesin milling

Gambar 4.1 menunjukkan mesin miling yang akan digunakan untuk proses prototyping *add on shopping cart*.



Gambar 4. 1. Mesin milling

4.1.1.2 Pahat yang dipergunakan

Dalam proses pembuatan troli ini ada beberapa jenis mata pahat yang digunakan yaitu mata pahat jenis *shell-end mill cutter* berbeda dan juga mata bor yang berfungsi untuk pembuatan lubang. Beberapa mata pahat yang digunakan ditunjukkan oleh gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2. Mata bor

4.1.1.3 Peralatan lainnya

Selain mesin utama dan pahat yang dipergunakan untuk membentuk benda kerja, terdapat peralatan lainnya yang dipergunakan dalam proses pembuatan *shopping cart* ini, yaitu ragum dan gergaji.

1. Ragum

Sebuah ragum diperlukan untuk memegang benda kerja dengan kuat sebelum dilakukan proses pemesinan. Pada pembuatan jig ini, ragum telah terpasang pada meja mesin milling yang digunakan. Ragum juga berfungsi memegang benda saat akan dilakukan pemotongan secara manual menggunakan gergaji. Gambar 4.3 berikut adalah gambar ragum pemegang benda.



Gambar 4. 3. Ragum pemegang benda kerja

2. Gergaji besi

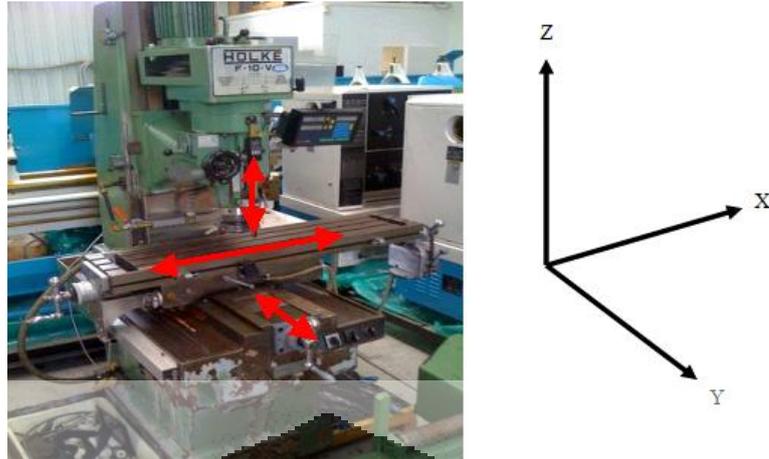
Alat pada gambar 4.4 ini digunakan untuk memotong plat tipis dan juga sisa besi hollow yang dipakai dalam proses *prototyping*.



Gambar 4. 4: gergaji besi

4.1.2 Proses pengerjaan shopping cart

Masing- masing komponen dari shopping cart dikerjakan dengan cara yang berbeda-beda tergantung bentuk desain yang diinginkan. Pada pengerjaan menggunakan mesin milling (frais) ini perlu diperhatikan bahwa bagian yang dapat bergerak pada sumbu X dan Y adalah ragum dan benda kerjanya yang telah terpasang pada meja millingnya sementara pahat hanya dapat bergerak terhadap sumbu Z. Cara kerja mesin milling ditunjukkan gambar 4.5 beriku ini :



Gambar 4. 5. Arah pergerakan pahat dan meja milling

Selanjutnya pengerjaan *add on shopping cart* dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

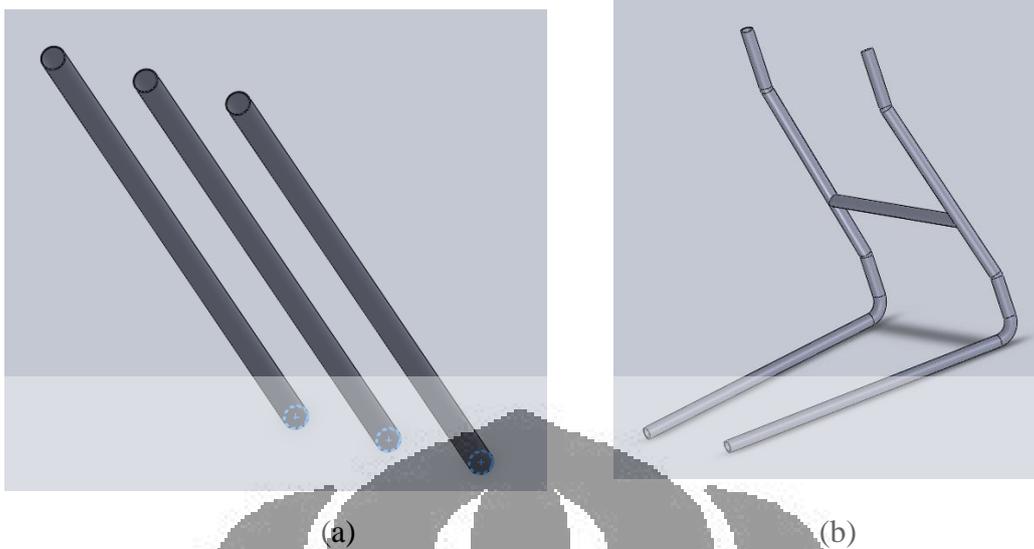
4.1.2.1 Pembuatan Gambar Kerja (terlampir)

Tiap-tiap komponen dari *shopping cart* akan dibuat berdasarkan acuan gambar kerja yang telah dibuat sebelumnya. Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa benda kerja yang dibuat sesuai dengan harapan, pada gambar kerja telah diberikan keterangan berupa toleransi geometri yang diperbolehkan terutama pada permukaan-permukaan dari komponen yang berinteraksi dengan komponen lainnya maupun dengan benda kerjanya secara langsung .

4.1.2.2 Pembuatan rangka kaki

Rangka kaki akan dibuat dengan menggunakan besi hollow dengan diameter luar 20 mm dan tebalnya 1,6 mm. Bahan yang digunakan adalah stainlesssteel 304 yang memiliki yield streng 205 Mpa. Bahan baku rangka kaki ditunjukkan oleh gambar 4.6 (a) dan gambaran rangka kaki yang terbentuk ditunjukkan oleh gambar 4.6 (b). Urutan proses produksinya adalah sebagai berikut

;

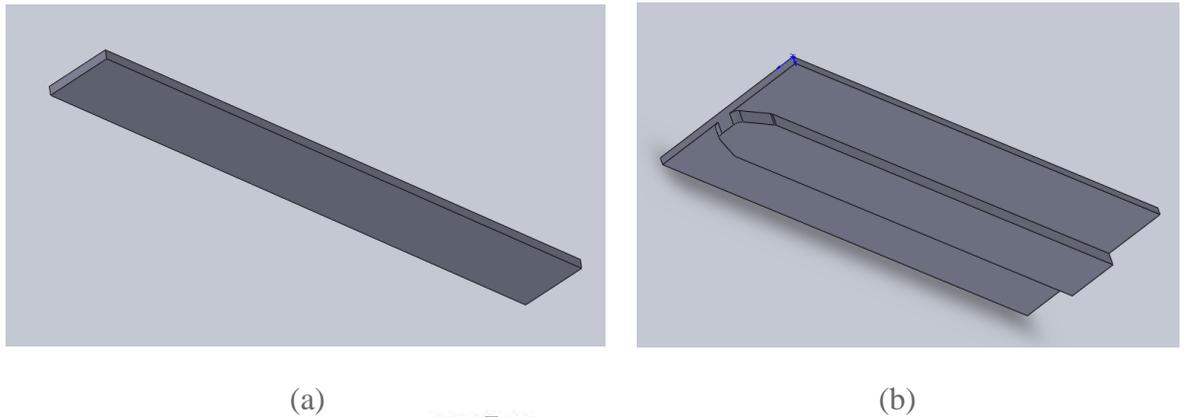


Gambar 4. 6. rangka kaki

1. Besi berongga berdiameter 20 mm dipotong dengan panjang 1m.
2. Tandai salah satu ujung besi sebagai titik acuan $x = 0$
3. Pada titik $x = 400$ mm , bengkokkan besi tersebut berlawanan arah jarum jam dengan sudut 90° dari garis sumbu x (sumbu acuan).
4. Pada titik 500 mm besi kembali di bengkokkan, namun kali ini sudutnya searah jarum jam, dengan sudut -165° mm.
5. Pada titik $x = 800$ mm besi kembali dibengkokkan searah jarum jam dengan sudut 165° mm.
6. Besi kedua juga dilakukan hal yang sama seperti point 1 s.d. 5.
7. Kemudian rangka kaki dari besi yang telah dibengkokkan tersebut dibuat lubang untuk memasang roda troli. selanjutnya adalah membuat lubang poros pada rangka kaki tersebut.

4.1.2.4 Pembuatan rel 1(yang di las ke troli)

Rel ini akan dibuat dengan 2 plat yang berbeda ketebalan, yaitu tebal 3 mm dan 5 mm. bahan baku pembuat rel ini ditunjukkan oleh gambar 4.7 (a) dan pada gambar 4.7 (b) adalah profil dari rel 1.



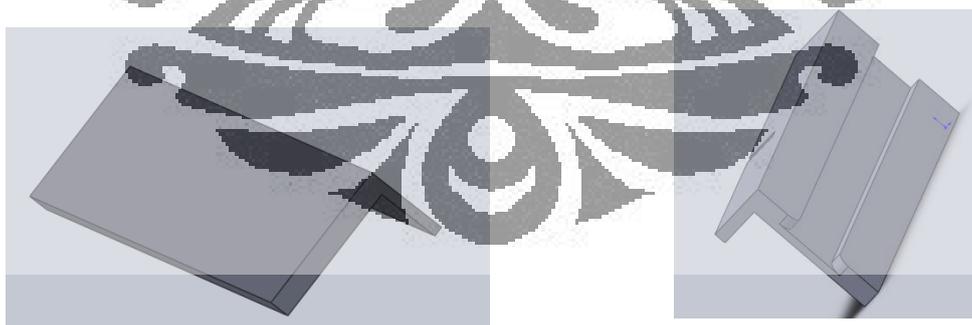
(a)

(b)

Gambar 4. 7. Rel 1

1. Potong sebuah plat besi yang tebalnya 4mm dengan lebar 65 mm sepanjang 200mm.
2. Potong plat kedua yang tebalnya 5mm dengan lebar 16 mm dan panjangnya 200mm.
3. Menggabungkan kedua plat tersebut dengan baut
4. Mmbuat lapisan nilon dengan tebal 2mm dan panjang 200mm untuk melapisi plat kedua, sehingga memudahkan proses penggabungan pada system rel tersebut.
5. Lakukan kembali proses 1-4 untuk membuat rel sebelah kanan.

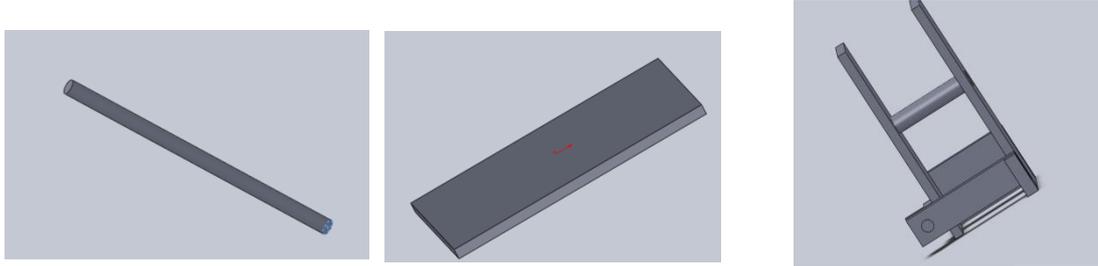
4.1.2.5 Pembuatan rel 2 (yang di las ke boncengan sepeda)

**Gambar 4. 8. rel 2**

1. Plat siku ukuran(bagian luar) 25 mm x 60 mm dengan ketebalan 3 mm , dipotong dengan panjang 200 mm.
2. Memotong dua buah plat dengan ukuran 2mm x 20mm x 200mm. dan bagian ujung dilakukan proses chamfering milling di kedua sisi salah satu ujung nya.

3. Menggabungkan kedua plat tersebut dengan mengelasnya.

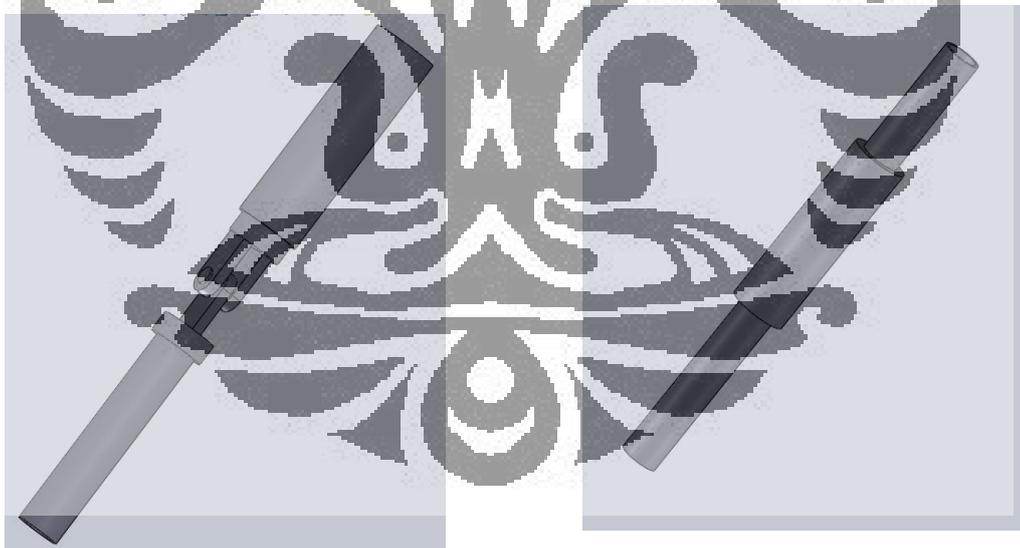
4.1.2.6 Pembuatan sambungan kaki



Gambar 4. 9. Sambungan kaki

1. Dua buah Plat bujursangkar ukuran 25 mm x 70 mm dengan tebal 4 mm, dihubungkan dengan Pengelasan menggunakan Besi Pejal berdiameter 6 mm dan panjang 25 mm pada bagian tengah kedua pelat tersebut dari $x = 40$ mm.
2. Sebuah Plat palang berukuran 14 mm x 41 mm dipasang di salah satu ujung plat besar di $x = 0$ menggunakan pin.
3. Memasang system pengunci pada kedua plat sejajar tersebut.

4.1.2.7 Pembuatan engsel batang



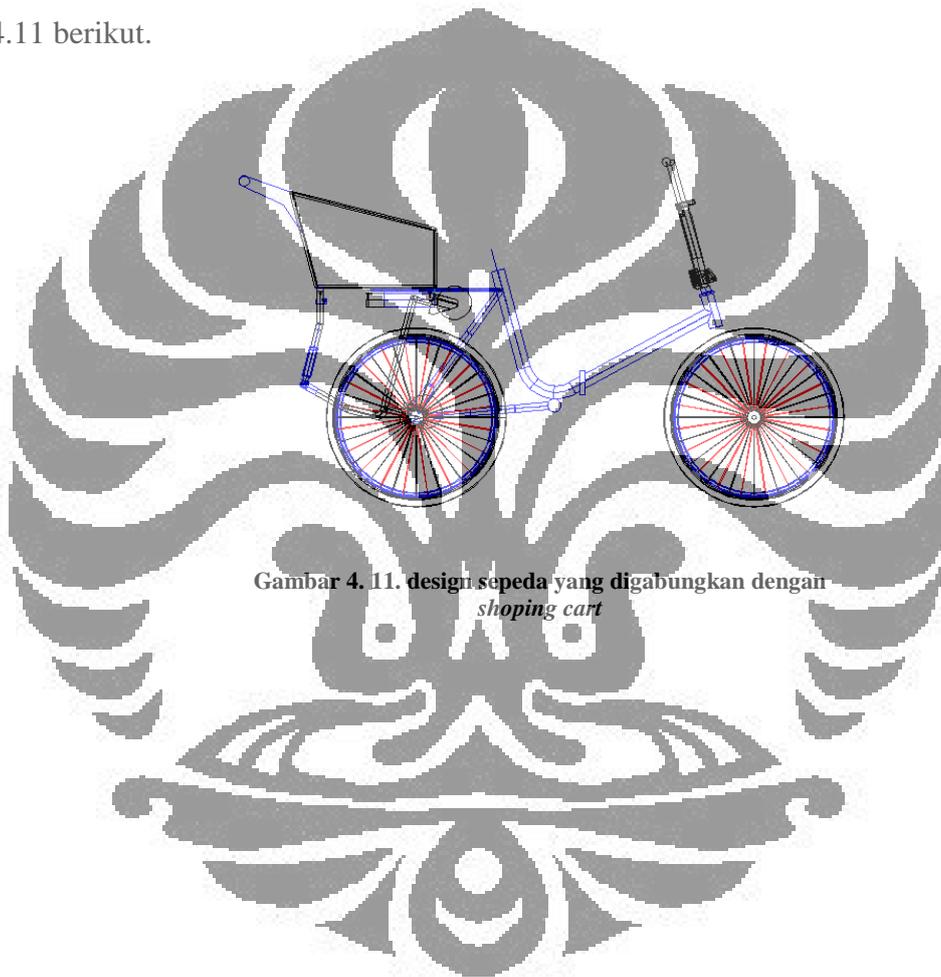
Gambar 4. 10. Engsel kaki

1. Potong silinder pejal dengan diameter 26 cm dan tebal 1 cm sebanyak 2 buah.

2. Memotong plat besi dengan dimensi 3cm x 1,5cm x 0,5cm sebanyak 3 buah, dilanjutkan dengan memfilet salah satu ujungnya, dan melubanginya dengan diameter 8cm.
3. Memotong silinder pejal dengan diameter 30cm tebal 5cm dan melubanginya pada centernya dengan diameter 20 cm.

4.2 Hasil Akhir

Bentuk akhir dari *prototype add on shopping cart* adalah seperti gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11. design sepeda yang digabungkan dengan *shopping cart*

BAB 5. ANALISA DAN KESIMPULAN

5.1 Analisa

5.1 Analisa pemilihan desain

Desain yang diharapkan adalah desain yang dapat di buat prototypenya, memiliki mekanisme penggabungan yang praktis, stabil dan juga ergonomis. Rancangan pertama memiliki mekanisme penggabungan yang tidak terlalu praktis, dikarenakan pada mekanisme pelipatan kakinya harus dilakukan satu persatu. Kesetabilan dari rancangan 1 juga kurang bagus, rancangan 1 ini menggunakan keranjang dengan kapasitas 50L dan dimensi keranjangnya memiliki panjang 50 cm. Untuk kasus penggabungan keranjang 1 dengan sepeda student version yang beroda kecil, keranjang ukuran tersebut kurang bagus kesetabilannya. Penambahan beban belanjaan seberat 20 kg dan juga berat keranjang itu sendiri yang mencapai 18 kg akan mengganggu kesetabilan penggabungan shopping cart ini. Untuk keergonomisannya, rancangan 1 ini juga belum memenuhi spesifikasi batas keergonomisan untuk orang Indonesia yaitu antara 92-100 cm.

Rancangan 2 memiliki mekanisme penggabungan yang cukup praktis. Penggabungannya masih sama seperti keranjang satu, yaitu dengan mekanisme rel, tetapi untuk pelipatan kakinya cukup dengan melepas pengunci dan melipatnya dengan satu langkah pelipatan. Keranjang yang digunakan pada rancangan 2 ini masih sama seperti rancangan satu, yaitu keranjang dengan kapasitas 50L. Tinggi troli pada rancangan 2 ini mencapai 107 cm, jadi untuk keergonomisannya belum terlalu bagus. Setelah dikaji ulang ternyata pada rancangan 2 ini ada kejanggalan pada hasil pelipatan kaki troli. Setelah troli digabungkan dengan sepeda dan kakinya dilipat, ternyata kaki tersebut mengganggu pengendara sepeda dalam mengayuh pedal sepeda tersebut.

Rancangan 1 dan 2 masih memiliki beberapa kekurangan, untuk itu dibuat rancangan ke 3. Kesetabilan dari rancangan 3 sudah cukup baik dibandingkan rancangan sebelumnya. Rancangan 3 ini menggunakan keranjang dengan kapasitas 22L dengan dimensi panjang troli 40 cm dan masa keranjang yang lebih ringan. Penggabungan rancangan 3 ini tidak jauh beda dengan rancangan 2, hanya

ditambahkan mekanisme engsel pada batang kaki untuk mengatasi masalah seperti yang terjadi pada rancangan 2. Ketinggian troli rancangan 3 ini juga masih dalam range keergonomisan troli bagi orang Indonesia yaitu 97cm. Dari semua uraian diatas maka rancangan 3 adalah rancangan yang paling pas untuk dijadikan prototype.

5.2 Analisa hasil perhitungan

Analisa akan dilakukan dengan membandingkan nilai *von-misses stress* dan *safety factor* yang didapat dari hasil perhitungan secara teori maupun FEM. Tabel 5.1 berikut menunjukkan hasil dari kedua perhitungan tersebut ;

Tabel 5. 1. design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart

No	Nama komponen	<i>von-misses stress</i> teori (Mpa)	<i>von-misses stress</i> FEM (Mpa)
1	Pin Sambungan kaki	12,16	10,8
2	Rangka kaki	56	64
3	Rel	34,4	34
4	Batang penopang	68,25	69

Tabel 5. 2. design sepeda yang digabungkan dengan shopping cart

No	Nama komponen	<i>Safety factor</i> teori (Mpa)	<i>safety factor</i> FEM (Mpa)	Keterangan
1	Pin Sambungan kaki	16,9	19	Aman
2	Rangka kaki	3,68	3,22	Aman
3	Rel	5,99	6,06	Aman
4	Batang penopang	3,02	2,99	Aman

Dari kedua table diatas, terdapat perbedaan antara hasil perhitungan teori dengan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan software FEM. Hal tersebut disebabkan pada perhitungan secara teori adalah penyederhanaan perhitungan, yaitu dari benda yang bentuknya 3 dimensi, dalam perhitungan di sederhanakan menjadi bidang/2dimensi. Sedangkan perhitungan pada FEM adalah metode perhitungan dimana persamaan umum matematik yang berupa integral di ubah menjadi persamaan matriks dikarenakan computer tidak mampu menyelesaikan persamaan integral. Pada pembebanan teoritis, sifat bahan di idealisasikan, setiap partikel benda kita anggap menerima gaya yang sama. Dalam bahan – bahan yang nyata sebagian partikel memberikan perlawanan gaya yang melebihi dari yang lainnya. Diagram distribusi tegangan yang sesungguhnya berubah - ubah untuk tiap kasus. Tetap perhitungan yang dilakukan secara teoritik memberikan hasil yang hampir mendekati benar dan karenanya tegangan yang diperoleh dari perhitungan ini dapat memberikan hasil yang sangat berarti.

5.3 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan perhitungan secara teoritis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Dihasilkan prototype *add on shopping cart* dengan mekanisme penggabungan yang praktis
2. Dari perhitungan kesetabilan addon shopping cart yang sudah digabungkan dengan sepeda student version, shopping cart ini mampu menerima beban sampai 20 kg.
3. Faktor keamanan untuk masing-masing rangka ditunjukkan pada table berikut:

Tabel 5. 3. Faktor keamanan batang

No	Nama komponen	<i>Min safety factor</i>	keterangan
1	Pin Sambungan kaki	18	Sangat aman
2.	Rangka kaki	3,45	aman
3	Rel	6	aman
4	Batang penopang	3	aman

4. Pada masing-masing part yang dinilai sangat aman, dapat diganti materialnya dengan kekuatan di bawah steel dan lebih ringan sehingga desain lebih optimal!

5.4. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dilakukan pembuatan prototipe dengan material sesuai fase perancangan agar dapat dibandingkan dengan perhitungan awal
2. Dilakukan penyempurnaan prototype ,mungkin dari segi artistik atau dari segi kemudahan proses produksi sehingga di harapkan adanya prototype baru yang murah,artistic dan disukai penggunanya.
3. Diharapkan adanya ide-ide baru yang bisa meningkatkan manfaat dari sepeda, sehingga diharapkan mampu meningkatkan minat masyarakat untuk menggunakan kendaraan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Carrlane manufacturing Co., *Jig and Fixturing supplier*. Diakses Oktober 2010 dari www.carrlane.com

Hamrock, Bernard J; Bo Jacobson; Steven R. Schmid. *Fundamental of Machine Elements*. Singapore : McGraw-Hill.1999

Hartanto, Feri. Perancangan dan Pembuatan Prototipe Jig untuk Proses Pembuatan Sepeda lipat Student Version Fakultas Teknik UI : 2010, Pembimbing : Hendri DS Budiono

Karl T. Ulrich, Steven D.Epingger.” *Product Design and Development*”. Mc.Graw-Hill International Edition 1995

Khurmi, R.S and Gupta, J.K, *Machine Design Third Edition* (New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1991)

Mempelajari cara kerja mesin bubut dan mesin milling, diakses Nov 2010 dari http://www.crayonpedia.org/mw/BAB_IX_PROSES_PEMESINAN_%28MACHINING_PROCESSES%29_HARDI

Muda, Iskandar. Pengujian Dinamis Pada Rangka Sepeda Lipat Menggunakan Strain Gage. Fakultas Teknik UI : 2008, Pembimbing : Hendri DS Budiono

Popof, E.P. *Mechanics of Materila*, second editions (New jersey: Englewood Cliffs, 1978)

Rachmat, Dedy. Pengujian Dinamis Rangka Sepeda Lipat Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Autodesk Inventor 2008. Fakultas Teknik UI : 2008, Pembimbing : Hendri DS Budiono

Wawancara Rektor UI, Prof Gumilar Rusliwa Somantri, kepada ANTARA.Depok. Diakses dari <http://www.antara.co.id/arc/2010/10/5/kampus-ui-miliki-jalur-khusus-sepeda-pertama-di-indonesia/>

Wiryo Sumarto, Harsono dan Toshie Okumura. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT Pradya Paramita. 1985.

Zamri, Aidil. Tesis: *Penerapan Analytic Hierachy Process Pada Pemilihan Konsep desain Sepeda Lipat*.

