

# PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI DAN POWERTRAIN PADA *PROTOTYPE HAND-CRANK CYCLE* (SEPEDA ENGGOL TANGAN)

**Dionisius Marcielo, Anton, Agustinus Purna Irawan**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta  
e-mail: dioniziuz@yahoo.com, anton.youn95@gmail.com

## *Abstract*

*Hand-Crank Cycle is a type of human-powered land vehicle which powered by the arms rather than the legs as on a bicycle. Hand-Crank Cycle is a tricycle in form, with two coasting rear wheels and one steerable powered front wheel. On this Hand-Crank Cycle design, performed modeling and construction load simulation was made and simulated by the help of Autodesk Inventor Professional 2017 Software. On the load simulation dan powertrain calculation, it was shown that Hand-Crank Cycle's construction have a good strength and ability to receive the maximum load that given and the power that sourced from the human's hands still enough to drive it safely.*

**Keywords:** *Hand-Crank Cycle, construction design, construction load simulation, powertrain*

## *Abstrak*

*Hand-Crank Cycle adalah suatu jenis kendaraan darat bertenaga manusia yang dikendarai menggunakan lengan daripada kaki seperti sepeda pada umumnya. Hand-Crank Cycle merupakan sepeda roda tiga, dengan dua roda di belakang dan satu roda di depan yang dapat dikemudikan. Pada desain Hand-Crank Cycle ini, pemodelan dan simulasi pembebanan dibuat dan disimulasikan dengan bantuan Software Autodesk Inventor Professional 2017. Pada simulasi pembebanan dan perhitungan daya penggerak yang dilakukan, menunjukkan bahwa Hand-Crank Cycle memiliki kekuatan yang baik dan kemampuan untuk menerima beban maksimum yang diberikan serta daya penggerak yang layak untuk dikendarai manusia.*

**Kata kunci:** *Sepeda engkol tangan, desain konstruksi, simulasi pembebanan konstruksi, daya penggerak*

## PENDAHULUAN

Di era sekarang ini dengan kebutuhan transportasi yang semakin tinggi dan menimbulkan banyak polusi, sepeda masih menjadi transportasi favorit karena selain tanpa menimbulkan polusi udara, sepeda juga menyehatkan bagi pengendara yang menggunakannya [1]. Namun demikian, tidak semua orang dapat mengendarai sepeda khususnya orang yang mempunyai keterbatasan fisik pada bagian kakinya. Oleh karena itu penulis akan merancang sepeda dengan sistem penggerak engkol tangan (*Hand-Crank Cycle*).

Perancangan konstruksi *Hand-Crank Cycle* dititikberatkan pada perancangan konstruksi kendaraan pada kondisi jalanan rata, tanpa lubang, dan tanpa tanjakan. Fokus masalah adalah pada penentuan material konstruksi *Hand-Crank Cycle*, pembuatan desain, dan analisa kekuatan

konstruksi *Hand-Crank Cycle* menggunakan software *Autodesk Inventor Professional*.

Perancangan konstruksi merupakan salah satu bagian penting dalam merancang suatu kendaraan, dalam hal ini adalah kendaraan *Hand-Crank Cycle*. Konstruksi rangka kendaraan perlu dirancang agar dapat menahan beban dan mendukung berbagai komponen yang terdapat pada kendaraan tersebut [2].

Tujuan perancangan ini adalah untuk merancang dan membuat *prototype Hand-Crank Cycle* (sepeda engkol tangan) yang proposional dan aman untuk dikendarai baik oleh manusia tanpa keterbatasan fisik maupun manusia dengan keterbatasan fisik pada salah satu ataupun kedua kakinya.

**METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam perancangan konstruksi pada *Hand-Crank Cycle* ini adalah metode analitis untuk menganalisa kekuatan dari hasil desain menggunakan *software* dan metode perancangan VDI 2221 untuk melakukan pemecahan masalah teknik dengan menggunakan tahap demi tahap analisis dan sintesis. Perancangan dengan menggunakan metode VDI 2221 (*Verein Deutscher Ingenieure*) merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan permasalahan dan mengoptimalkan penggunaan material, teknologi dan keadaan ekonomi [3] [4].

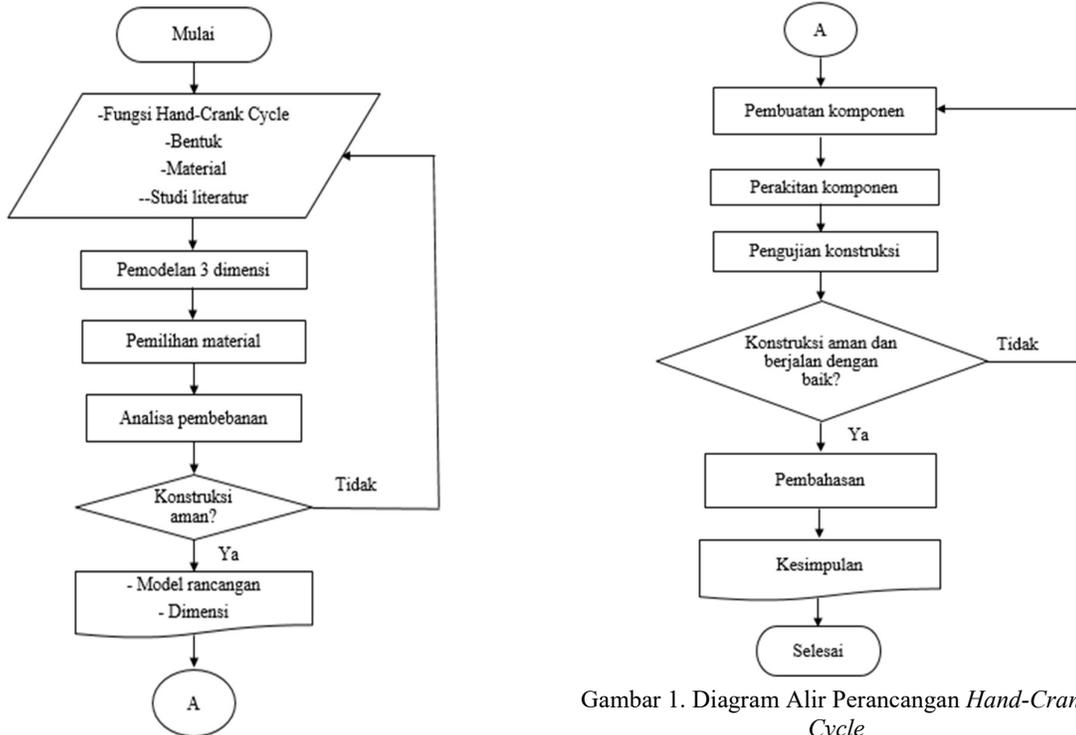
Penelitian diawali dengan mengumpulkan informasi yang dibutuhkan tentang *Hand-Crank Cycle*, terutama dalam perancangan konstruksi. Informasi dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti internet, pustaka, dan penelitian lapangan. Kemudian dilakukan pemodelan 3 dimensi desain *Hand-Crank Cycle* untuk kemudian dianalisa kekuatan konstruksinya menggunakan *software*. Apabila pada analisa rancangan tidak terjadi tegangan yang melebihi tegangan ijin material, maka

rancangan dianggap aman dan proses dilanjutkan pada pembuatan komponen [5] [6].

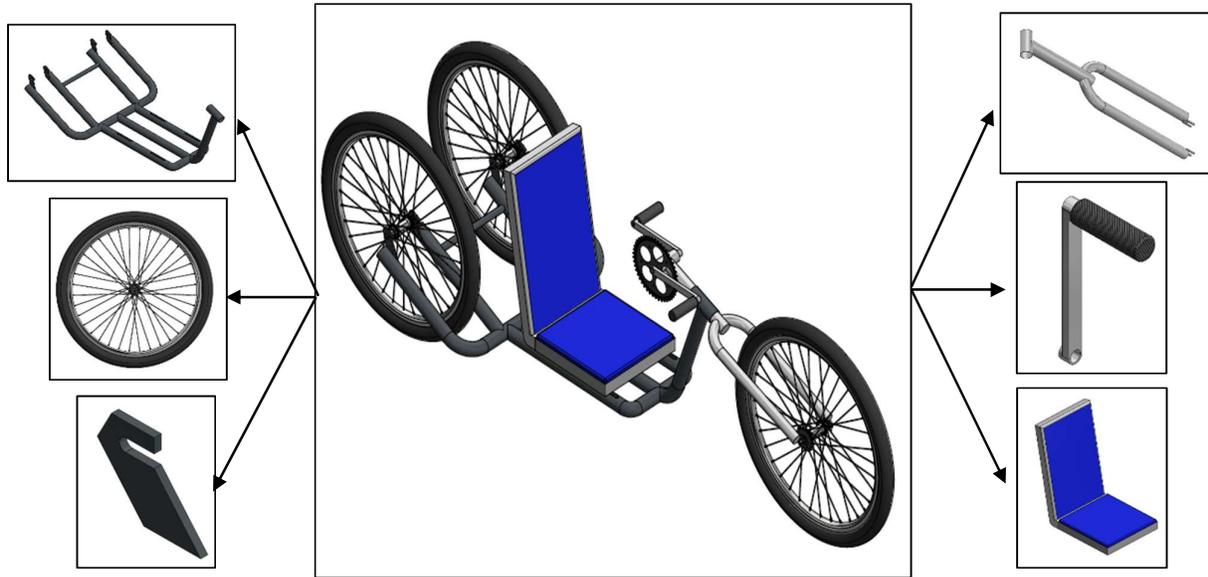
Komponen yang sudah dibuat kemudian dirakit dan dilakukan pengujian langsung terutama pada kekuatan konstruksi sesuai dengan pembebanan yang diberikan. Apabila konstruksi dapat menerima pembebanan yang diberikan secara aktual, maka perancangan telah selesai dan dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil perancangan sesuai dengan analisis kekuatan konstruksi yang dilakukan [6] [7].

Pemodelan rancangan dalam bentuk 3 dimensi dan analisa kekuatan konstruksi dilakukan menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2017*. Analisa kekuatan konstruksi dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari tegangan, regangan, dan pergeseran yang terjadi pada komponen yang dirancang.

Beberapa komponen pada *Hand-Crank Cycle* yang dimodelkan menggunakan *software Autodesk Inventor* untuk kebutuhan konstruksi yaitu rangka (*frame*), garpu stir roda (*fork*), roda (pelek dan ban), engkol (*crank*), kursi pengemudi (*seat*), dan dudukan as roda.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan *Hand-Crank Cycle*

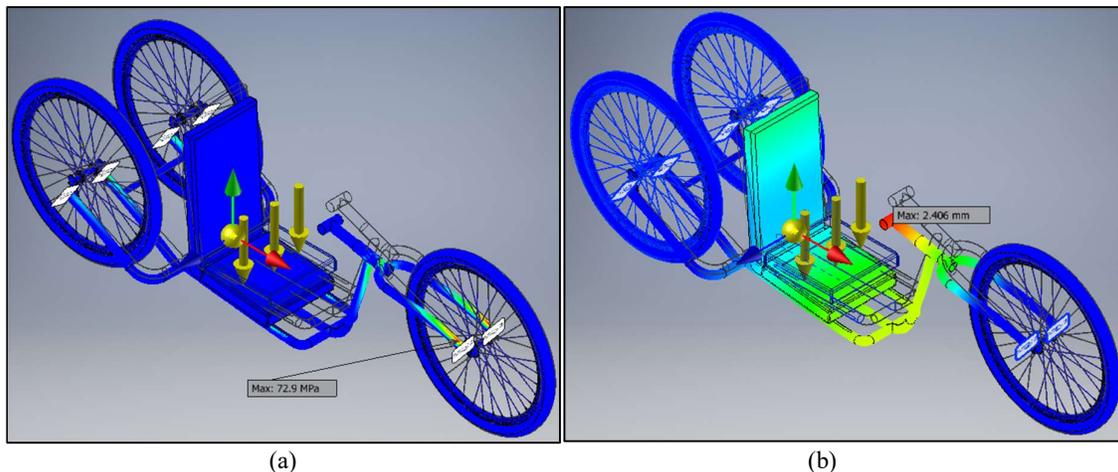


Gambar 2. Model *Hand-Crank Cycle* dalam bentuk 3 dimensi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Simulasi pembebanan konstruksi *Hand-Crank Cycle* dilakukan dengan memberikan pembebanan sebesar 100 kg terdiri dari berat pengemudi 90 kg dan berat kursi 10 kg, dengan percepatan gravitasi  $9.81 \text{ m/s}^2$ . Beban ini ditempatkan pada dudukan kursi pengemudi (*seat*) yang

menerima beban paling besar dari berat pengemudi yang dimana ditumpu dengan 3 batang besi rangka (*frame*). Daerah yang dijadikan konstrain atau daerah *fixed* adalah pada penumpu as roda yang dimana pada daerah ini menopang seluruh konstruksi rangka *Hand-Crank Cycle*. Gambar 3a dan 3b menunjukkan *von mises stress* dan *displacement* yang terjadi pada konstruksi *Hand-Crank Cycle*.



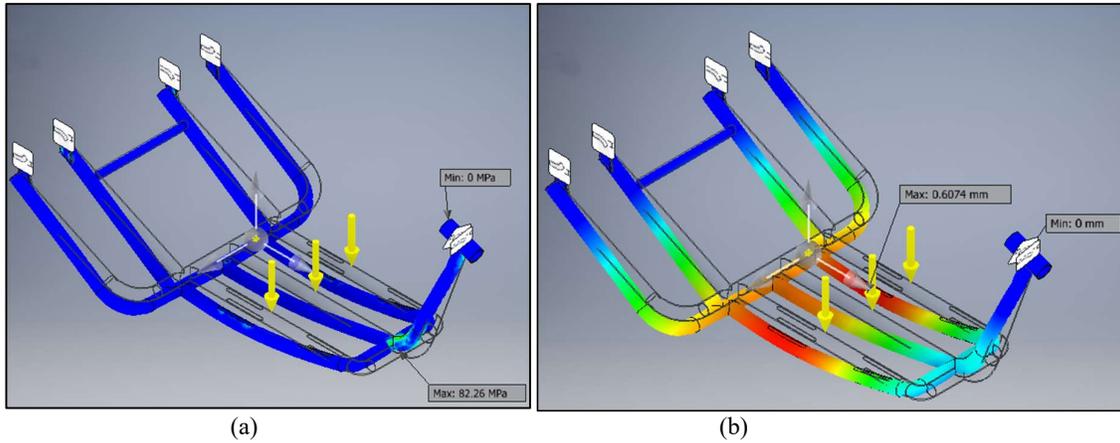
Gambar 3. (a) *Von mises stress* konstruksi *Hand-Crank Cycle*, (b) *Displacement* konstruksi *Hand-Crank Cycle*

Simulasi pembebanan pada rangka (*frame*) dilakukan dengan memberikan beban pada bagian rangka yang menopang kursi dudukan pengemudi (*seat*), dimana

bagian rangka tersebut menerima atau menumpu beban seberat 100 kg yaitu yang terdiri dari berat pengemudi 90 kg dan berat kursi 10 kg, dengan percepatan gravitasi

9,81 m/s<sup>2</sup>, dimana gaya yang terjadi adalah 1000 N dengan pembagian beban terdistribusi merata kepada ketiga rangka batang. Material yang digunakan pada

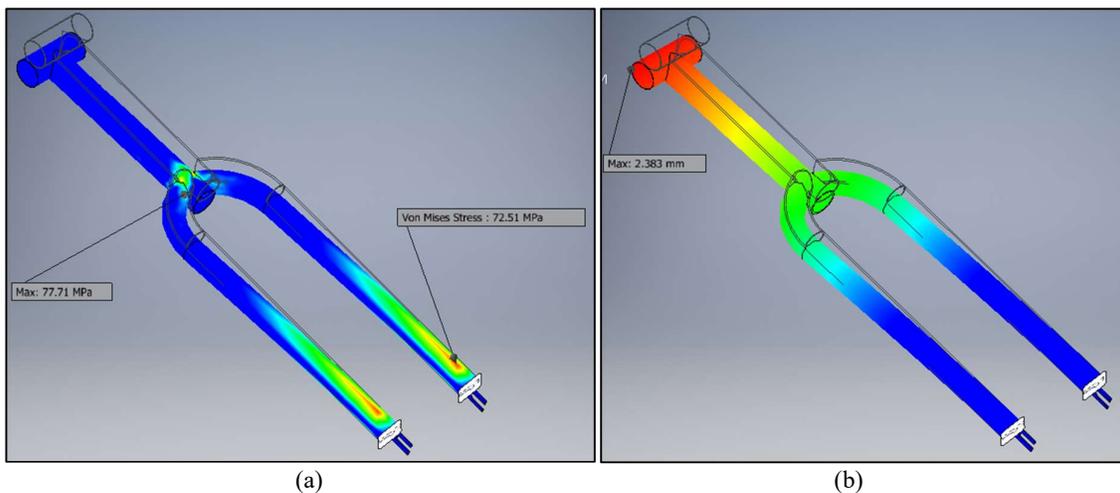
rangka adalah besi tempa hollow dengan diameter 1,25 inch tebal 2 mm. Gambar 4a dan 4b menunjukkan *von mises stress* dan *displacement* yang terjadi pada rangka (*frame*) *Hand-Crank Cycle*.



Gambar 4. (a) *Von mises stress* rangka (*frame*), (b) *Displacement* rangka (*frame*)

Simulasi pembebanan pada garpu stir roda (*fork*) dilakukan dengan memberikan beban tarik pada bagian atas *fork* yang bertumpu pada rangka sesuai dengan pembebanan yang terjadi pada rangka (*frame*) konstruksi *Hand-Crank Cycle*. *Fork*

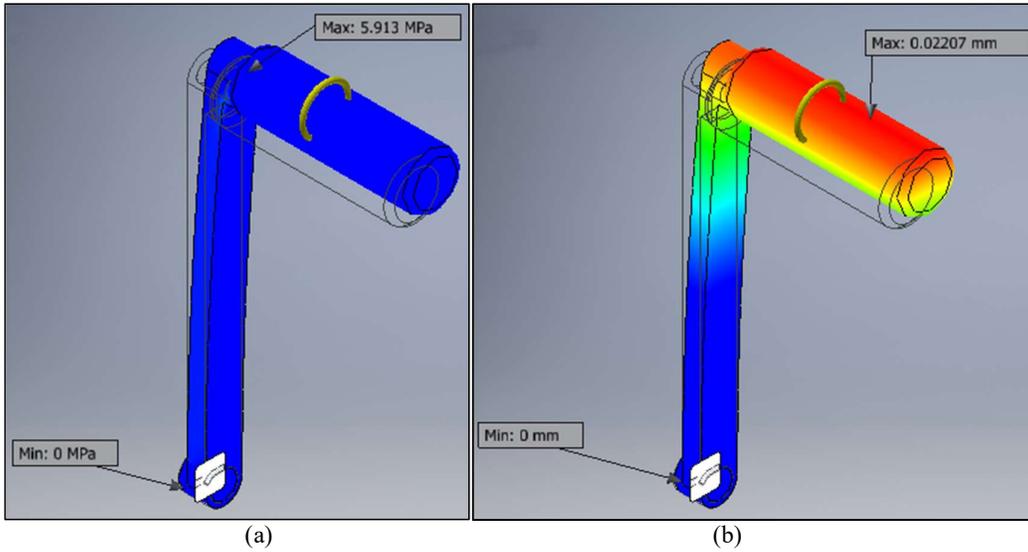
terbuat dari material besi tempa (*wrought iron*) dengan ketebalan 2 mm, diameter 30 mm. Gambar 5a dan 5b menunjukkan *von mises stress* dan *displacement* yang terjadi pada *fork*.



Gambar 5. (a) *Von mises stress* garpu stir roda (*fork*), (b) *Displacement* garpu stir roda (*fork*)

Simulasi pembebanan engkol (*crank*) penggerak sproket dilakukan dengan memberikan sebuah beban momen puntir sebesar 1440 Nmm. Momen puntir ini didapat dari perhitungan gaya yang terjadi pada pegangan engkol untuk menjalankan sepeda sebesar 72,07 N dikali dengan

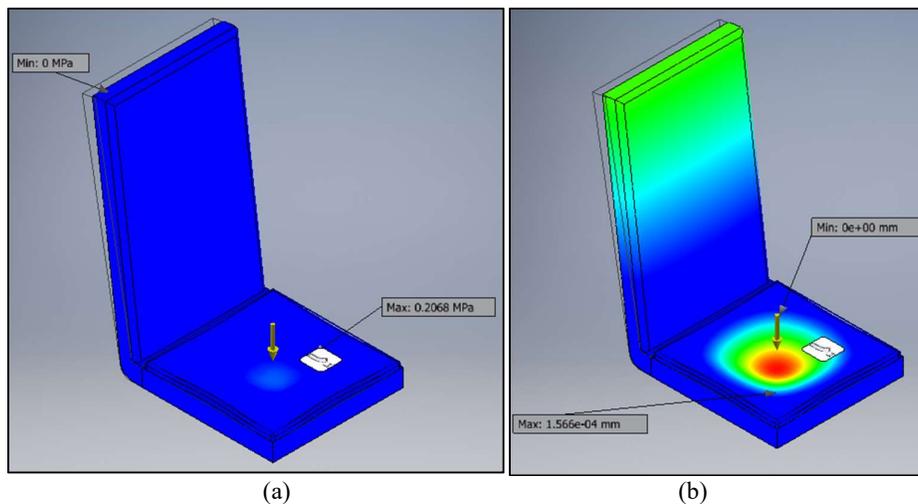
panjang batang engkol yaitu 20 mm. Batang engkol terbuat dari material besi tuang (*cast iron*) dan pegangan engkol terbuat dari material aluminium. Gambar 6a dan 6b menunjukkan *von mises stress* dan *displacement* yang terjadi pada engkol (*crank*).



Gambar 6. (a) *Von mises stress* engkol (*crank*), (b) *Displacement* engkol (*crank*)

Simulasi pembebanan kursi pengemudi dilakukan dengan memberikan beban sebesar 1000 N, yaitu dengan asumsi berat manusia maksimal 100 kg dan percepatan gravitasi  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Beban diberikan pada titik tengah dudukan kursi.

Tumpuan kursi terletak di bawah dasar kursi yang menempel pada rangka. Rangka kursi pengemudi terbuat dari material aluminium 6061 dengan jok yang terbuat dari bantalan busa. Gambar 7a dan 7b menunjukkan *von mises stress* dan *displacement* yang terjadi pada pengemudi (*seat*).

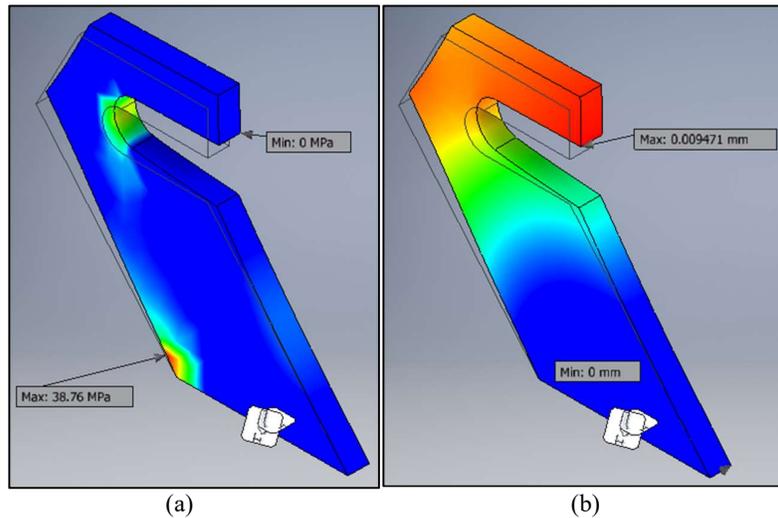


Gambar 7. (a) *Von mises stress* dudukan pengemudi (*seat*), (b) *Displacement* dudukan pengemudi (*seat*)

Simulasi pembebanan dudukan as roda dilakukan dengan pemberian beban sebesar 477 N pada bagian penampang yang menahan poros roda, gaya ini didapat dari perhitungan kesetimbangan gaya pada konstruksi *Hand-Crank Cycle*. Dudukan as roda berfungsi sebagai penumpu utama

konstruksi sehingga harus memiliki kekuatan yang cukup dalam menahan beban. Dudukan as roda ini terbuat dari material besi tempa (*wrought ron*) dengan ketebalan 3 mm dan di las pada bagian konstruksi rangka (*frame*) *Hand-Crank Cycle*. Gambar 8a dan 8b menunjukkan *von mises stress*

dan *displacement* yang terjadi pada dudukan as roda.



Gambar 8. (a) *Von mises stress* dudukan as roda, (b) *Displacement* dudukan as roda

Hasil simulasi pembebanan yang dilakukan menggunakan bantuan *software Autodesk Inventor* menunjukkan bahwa seluruh komponen *Hand-Crank Cycle* aman dan layak digunakan karena memiliki nilai

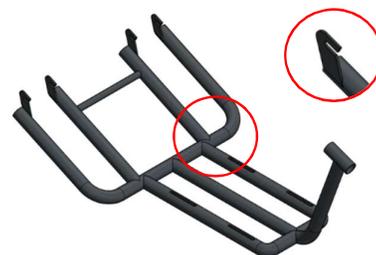
*von mises stress* maksimum lebih rendah dari tegangan ijin material yang digunakan dari setiap komponen. Hasil simulasi pembebanan setiap komponen *Hand-Crank Cycle* ditampilkan secara rinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi Pembebanan Komponen *Hand-Crank Cycle*

No	Komponen	Material	$\sigma_y$ (MPa)	SF	$\sigma_{ijin}$ (MPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)	Defleksi Maksimum (mm)	Ket
1	Konstruksi <i>Hand-Crank Cycle</i>	<i>Mild Steel</i>	250	3	83,4	72,9	2,406	Aman
2	Rangka ( <i>Frame</i> )	<i>Mild Steel</i>	250	3	83,4	82,26	0,607	Aman
3	Garpu Stir ( <i>Fork</i> )	<i>Mild Steel</i>	250	3	83,4	77,71	2,383	Aman
4	Engkol ( <i>Crank</i> )	<i>Mild Steel</i>	250	6	41,67	5,91	0,022	Aman
5	Kursi Pengemudi ( <i>Seat</i> )	Aluminium 6061	275	3	68,75	0,2	$1,56 \times 10^{-4}$	Aman
6	Dudukan As Roda	<i>Mild Steel</i>	250	3	83,4	38,76	0,0095	Aman

Untuk kebutuhan perancangan dan pembuatan prototipe *Hand-Crank Cycle* dibutuhkan nilai tebal pengelasan yang sesuai. Pengelasan pada rangka *Hand-Crank Cycle* ini menggunakan dua jenis pengelasan, yaitu tipe las *parallel fillet* dan tipe las *T-Joint* [5, 6].

1. Tipe Las *Parallel Fillet*



Gambar 9. Bagian Las *Parallel Fillet* pada Rangka

Plat yang dilas memiliki ketebalan ( $t$ ) 3 mm. Disambungkan pada pipa besi dengan tipe las *parallel fillet*. Tegangan geser maksimum las ( $\sigma_{max}$ ) adalah 55 MPa. Beban yang ditumpu plat ( $F$ ) adalah 1200 N.

- Perhitungan panjang lasan untuk beban statis

$$F = \sqrt{2} \cdot t \cdot L \cdot \sigma_{max} \dots\dots\dots(1)$$

$$L = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot t \cdot \sigma_{max}} = \frac{1200 N}{\sqrt{2} \cdot 3mm \cdot 55Mpa}$$

$$L = 5,14 mm$$

Untuk alasan keamanan, lasan harus ditambahkan panjang 12,5 mm  
 Sehingga panjang lasan minimum untuk beban statis 5,14 mm + 12,5 mm = 17,64 mm.

- Perhitungan panjang lasan untuk beban dinamis

Faktor konsentrasi tegangan parallel fillets ( $k$ ) = 2,7

Tegangan geser ijin =  $\frac{\sigma_{max}}{k} = \frac{55}{2.7} = 20,37$  MPa

$$F = \sqrt{2} \cdot t \cdot L \cdot \sigma_{max} \dots\dots\dots (2)$$

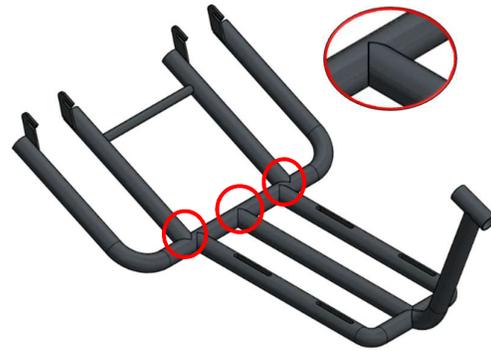
$$L = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot t \cdot \sigma_{max}} = \frac{1200 N}{\sqrt{2} \cdot 3mm \cdot 20,37Mpa}$$

$$L = 13,88 mm$$

Untuk alasan keamanan, lasan harus ditambahkan panjang 12,5 mm  
 Sehingga panjang lasan minimum untuk beban dinamis 13,88 mm + 12,5 mm = 26,38 mm [5] [6].

Didapat panjang minimum pengelasan adalah 26,38 mm pada bagian sisi plat untuk mendatkan hasil pengelasan yang kuat dalam menahan beban yang terjadi pada rangka *Hand-Crank Cycle*.

2. Tipe Las *T-Joint*



Gambar 10. Bagian Tipe Las *T-Joint* pada Rangka

Dalam perhitungan ini dicari tebal las minimum ( $t$ ) yang harus diberikan agar pengelasan mampu menahan momen ( $M$ ) yang terjadi pada rangka tersebut [5, 6, 7]. Dengan tegangan tekan ijin las ( $\sigma_t$ ) tidak melebihi 100 MPa dan diameter rangka besi ( $D$ ) adalah 1,25 inch atau setara 31,75 mm.

- Perhitungan momen ( $M$ ) yang terjadi
- $M : F \times L \dots\dots\dots (3)$
- $M : 400 N \times 260 mm$
- $M : 104000 Nmm$

Keterangan;

- $F$ = Gaya tekan yang diberikan = 400 N (1200 N dibagi 3, karena ada 3 batang)
- $L$ = Jarak gaya tekan ke titik 0 pusat pengelasan = 260 mm

- Perhitungan tebal minimum las

$$\sigma_t = \frac{5,66 \cdot M}{\pi t D^2} \dots\dots\dots(4)$$

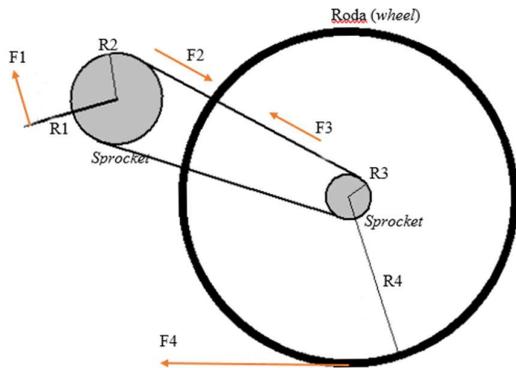
$$100 Mpa = \frac{5,66 \cdot 104000 Nmm}{3,14 t (31,75mm)^2}$$

$$t = 1,85 mm \approx 2 mm$$

Didapat tebal minimum pengelasan adalah 2 mm untuk mendapatkan hasil pengelasan yang kuat dalam menahan beban yang diberikan pada rangka *Hand-Crank Cycle*.

Setelah menghitung kekuatan konstruksi, selanjutnya menghitung sistem *power steering Hand-Crank Cycle*. Pertama dilakukan perhitungan daya dan tenaga yang dibutuhkan tangan manusia untuk mengengkol *Hand-Crank Cycle* ini hingga bergerak maju. Perhitungan daya ini

dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan gaya fisika dasar.



Gambar 11. Gaya-gaya yang Terjadi Pada Sistem Penggerak

**Keterangan:**

- F1 : Gaya tarik tangan (N)
- F2 : Gaya tegang rantai (N)
- F3 : Gaya tegang rantai (N)
- F4 : Gaya gesek roda dengan aspal (N)
- R1 : Panjang lengan engkol (mm) = 200
- R2 : Jari-jari sprocket besar (mm) = 80
- R3 : Jari-jari sprocket kecil (mm) = 40
- R4 : Jari-jari roda (wheel) (mm) = 300

Dimana,

$$F1 \cdot R1 = F2 \cdot R2$$

$$F3 \cdot R3 = F4 \cdot R4$$

$$F2 = F3$$

$$\text{Sehingga } F4 = \frac{F1 \cdot R1 \cdot R3}{R2 \cdot R4} \dots\dots\dots(5)$$

$$F4 = Cr \cdot m \cdot g \dots\dots\dots(6)$$

$$F4 = 0,02 \cdot 130 \text{kg} \cdot 9,8 \text{m/s}^2$$

$$F4 = 25.506 \text{ N}$$

Substitusi persamaan 6 ke 5 untuk mencari F1, dan didapat F1 (gaya engkol) sebesar 77,762 N. Setelah itu konversi gaya engkol (N) menjadi kg, dengan percepatan (a) yang terjadi pada tangan sebesar 37,374 m/s<sup>2</sup>, putaran tangan (n) 120 rpm, ω=12,56 rad/s.

- Perhitungan massa (m) gaya engkol yang terjadi,

$$F1 = m \cdot a \dots\dots\dots(7)$$

$$77,762 \text{ N} = m \cdot 37,374 \text{ m/s}^2$$

$$m = 2,081 \text{ kg}$$

Jadi, gaya yang dibutuhkan tangan manusia untuk meng-engkol Hand-Crank Cycle ini

hingga bergerak maju adalah 77,762 N atau sebesar 2,081 kg.

Sedangkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan Hand-Crank Cycle ini dapat dihitung menggunakan rumus daya, dimana kecepatan maksimum Hand-Crank Cycle diasumsikan 15 km/jam atau 4,167 m/s, sehingga

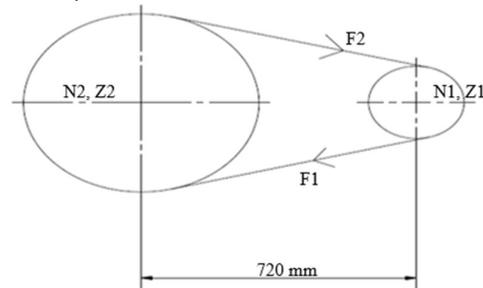
$$P = F \cdot v \dots\dots\dots(8)$$

$$P = 25,506 \text{N} \cdot 4,167 \text{m/s}$$

$$P = 106,284 \text{ W}$$

Jadi, daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan Hand-Crank Cycle ini hingga dapat bergerak maju adalah sebesar 106,284 W.

Setelah itu menentukan ukuran transmisi rantai dan sprocket yang sesuai untuk digunakan pada Hand-Crank Cycle ini. Berikut adalah perhitungan transmisi rantai dan sprocket Hand-Crank Cycle.



Gambar 12. Analisis Sistem Transmisi Rantai Sprocket

**Keterangan:**

- Z2 : Jumlah gigi sprocket besar = 44
- N2 : Putaran sprocket besar = 120 rpm
- N1 : Putaran sprocket kecil = 240 rpm
- Sehingga dengan persamaan N1.Z1 = N2.Z2, didapat jumlah gigi sprocket kecil Z1 = 22
- C : Jarak antar sumbu poros = 720 mm

Dengan kecepatan sprocket kecil N1=240 rpm, dan daya yang ditransmisikan sebesar 106,28 Watt (dari perhitungan daya sebelumnya), akan diperoleh nomor rantai yang sesuai untuk kebutuhan Hand-Crank Cycle (dari referensi diagram pemilihan rantai buku Elemen Mesin, oleh Sularso) adalah rantai no.25 dengan satu rangkaian

rantai-sprocket. Kemudian berdasarkan tabel *characteristics of roller chains according to IS: 2403-1991*[5,6,7], diperoleh nilai *pitch* (P) rantai sebesar 8 mm. Kemudian menghitung *safety factor* pada rantai dengan menggunakan persamaan,  $K_s = k_1.k_2.k_3 = 1,25.1.1 = 1,25.....$  (9)

Dimana,  $k_1$  adalah *load factor* 1,25 untuk beban variabel untuk *mild shock*,  $k_2$  adalah *lubrication factor* bernilai 1, dan  $k_3$  adalah *rating factor* 1 untuk jam kerja yang tidak terlalu lama. Diketahui *rated power* 0,61 kW dari tabel tentang *power rating of simple roller chain* dan *safety factor* sebesar 1,25 akan diperoleh *design power* 0,7625 kW. Pemilihan rantai no.25 untuk *Hand-Crank Cycle* adalah aman karena daya yang di transmisikan 0,106 kW lebih kecil dibandingkan *design power* yang diijinkan 0,762 kW.

Kemudian panjang rantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus,

$$L_p = \frac{z_1+z_2}{2} + 2C_p + \frac{[z_2-z_1]^2}{6,28^2 C_p}, \text{ dimana } C_p = \frac{c}{P} = \frac{720 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 90 \text{ mata rantai} \dots\dots\dots(10)$$

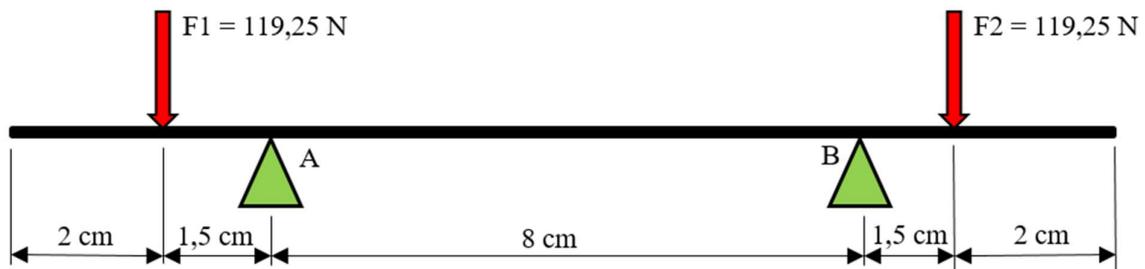
Dan didapat hasil akhir panjang rantai dalam satuan jumlah mata rantai ( $L_p$ ) adalah 213,35 atau 214 mata rantai yang dibutuhkan untuk menyambung kedua sprocket pada *Hand-Crank Cycle*. Spesifikasi rantai dan

sprocket yang digunakan pada *Hand-Crank Cycle* ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Rantai dan *Sprocket Hand-Crank Cycle*

No	Nama	Keterangan
1	Jumlah Gigi Sprocket kecil	22
2	Jumlah Gigi Sprocket besar	44
3	Diameter Sprocket kecil	80 mm
4	Diameter Sprocket besar	40 mm
5	Pitch Rantai	8 mm
6	Jarak Antar Poros	720 mm
7	Panjang Rantai	214 mata rantai

Dengan mengetahui data-data dari perhitungan diatas, kemudian dapat dilanjutkan dengan perhitungan poros roda yang digunakan pada *Hand-Crank Cycle* ini. Poros roda *Hand-Crank Cycle* ini terbuat dari material baja karbon S45C dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 570 MPa dari tabel mengenai tegangan tarik maksimum, dan nilai *safety factor* 4 untuk keadaan *steady load*, sehingga didapat tegangan tarik ijin ( $\sigma_i$ ) sebesar 142 MPa. Setelah didapat tegangan tarik ijin, kemudian dapat dicari tegangan geser ijin ( $\tau_i$ ) sebesar 82 MPa. Gambar 13 menunjukkan gaya yang terjadi pada poros roda *Hand-Crank Cycle*.



Gambar 13. Analisis Poros Roda *Hand-Crank Cycle* [8]

Kemudian dengan rumus kesetimbangan gaya yang terjadi pada poros *Hand-Crank Cycle* di dapat momen maksimum yang terjadi (M) adalah 1,789 Nm yang merupakan perkalian antara F 119,25 N dengan jarak terhadap tumpuan 1,5

cm. Poros statis dengan beban berfluktuasi  $K_m = 1,5, K_t = 1,5 \rightarrow$  *Suddenly Applied Load*. Setelah itu dapat dicari diameter poros minimum yang digunakan dengan menghitung Torsi

ekuivalen ( $T_e$ ) dan Momen ekuivalennya ( $M_e$ ) sebagai berikut.

$$T = P \cdot \frac{60}{2\pi n} = 106,28 \text{ W} \cdot \frac{60}{2,3,14,130,54} = 7,77 \text{ Nm}$$

..... (11)

Perhitungan Torsi yang terjadi pada poros Hand-Crank Cycle,

- Perhitungan Torsi Ekuivalen ( $T_e$ ),

$$T_e = \sqrt{(Kt \cdot T)^2 + (Km \cdot M)^2}$$

$$T_e = \sqrt{(1,5 \cdot 7,77 \text{ Nm})^2 + (1,5 \cdot 1,79 \text{ Nm})^2}$$

$$T_e = 11,96 \text{ Nm} = 12 \text{ Nm}$$

Diameter berdasarkan  $T_e$

$$D = \sqrt[3]{16 \cdot \frac{T_e}{\pi \cdot \tau_a}}$$

$$D = \sqrt[3]{16 \cdot \frac{12 \text{ Nm}}{3,14 \cdot 82000000 \text{ Pa}}}$$

$$D = 9,06 \times 10^{-3} \text{ m} = 9,06 \text{ mm}$$

Dari perhitungan Torsi ekuivalen ( $T_e$ ) dan Momen ekuivalen ( $M_e$ ) diatas didapat diameter minimum poros yang harus digunakan yaitu 9,06 mm, sedangkan diameter poros sesungguhnya yang digunakan adalah sebesar 10 mm dengan tujuan agar lebih kuat dan memiliki nilai kemanan dari perhitungan diatas.

Dari sisi desain dan ergonominya, *Hand-Crank Cycle* dibuat memanjang

- Perhitungan Momen Ekuivalen ( $M_e$ ),

$$M_e = \frac{1}{2}(Km \cdot M + \sqrt{(Kt \cdot T)^2 + (Km \cdot M)^2})$$

$$M_e = \frac{1}{2}(1,5 \cdot 1,79 \text{ Nm} + 12 \text{ Nm})$$

$$M_e = 7,342 \text{ Nm}$$

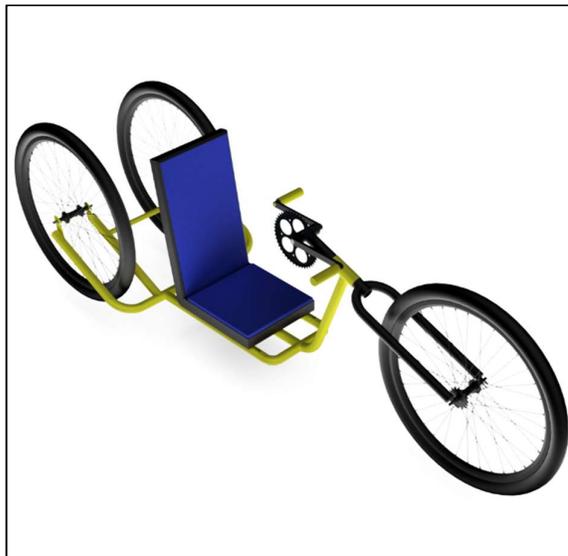
Diameter berdasarkan  $M_e$

$$D = \sqrt[3]{32 \cdot \frac{M}{\pi \cdot \sigma_b}}$$

$$D = \sqrt[3]{32 \cdot \frac{7,342 \text{ Nm}}{3,14 \cdot 142}}$$

$$D = 8,07 \times 10^{-3} \text{ m} = 8,07 \text{ mm}$$

dengan menggunakan 3 buah roda dan dengan jarak *clearance* yang rendah untuk memudahkan seorang disabilitas kaki maupun seorang normal untuk menaikinya. Digunakan 3 buah roda karena untuk menjaga keseimbangan *Hand-Crank Cycle* itu sendiri. Dengan kedua roda belakang berukuran 26 inch dan roda depan berukuran 24 inch. Roda depan dibuat lebih kecil bertujuan agar konstruksi lebih seimbang.



(a)

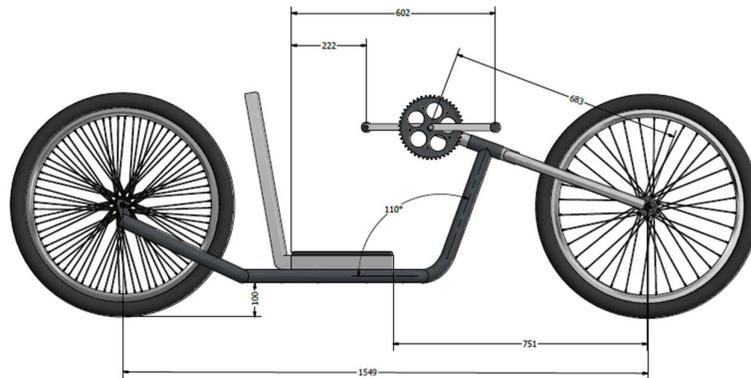


(b)

Gambar 14. (a) Desain 3D *Hand-Crank Cycle*, (b) Prototipe *Hand-Crank Cycle*

Perancangan *Hand-Crank Cycle* ini juga mempertimbangkan segi ergonomi dan kenyamanan manusia dalam mengendarakannya. Jarak dimensi yang ditentukan sesuai dengan tinggi dan berat badan orang rata-rata yaitu berat 70 kg dan

tinggi 170 cm, dengan panjang kaki pengendara kurang lebih 80 cm dan panjang tangan 60 cm. Pada bagian kursi pengemudi dapat dimajukan dan dimundurkan bertujuan sebagai faktor kenyamanan karena variasi badan pengendara yang berbeda.



Gambar 15. Dimensi Proposional *Hand-Crank Cycle*

## KESIMPULAN

*Hand-Crank Cycle* hasil perancangan memiliki dimensi p x l x t yaitu (1550 x 380 x 610) mm, dapat dikendarai pada jalan lurus tanpa hambatan, tanpa tanjakan, dikendarai oleh 1 pengemudi dengan berat badan maksimum yang disarankan adalah 100 kg, baik pengendara normal maupun pengendara dengan keterbatasan fisik pada kakinya. *Hand-Crank Cycle* ini dapat menahan beban sebesar 1000 N, dan sesuai hasil simulasi pembebanan menggunakan *software Autodesk Inventor* menunjukkan bahwa rancangan konstruksi *Hand-Crank Cycle* aman untuk dikendarai karena seluruh tegangan maksimum yang terjadi pada setiap komponen *Hand-Crank Cycle* berada di bawah tegangan ijin material. Dari hasil perhitungan *Powertrain Hand-Crank Cycle* didapat daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan *Hand-Crank Cycle* ini sebesar 106,284 Watt, yang dimana sumber tenaga dari tangan manusia normal masih mampu untuk menggerakkan *Hand-Crank Cycle* ini.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Decib. Sepeda sebagai Alat Transportasi. [Online]. <https://decib.wordpress.com/2010/04/2>

8/sepeda-sebagai-alat-transportasi/ (30 Agustus 2016)

- [2] Danardono Agus Sumarsono dan Muhamad Agus Farhan, "Stress Analysis on Chassis Structure of hybrid Vehicle Using Finite Element Method," in 9<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research, Depok, 2006.
- [3] Agustinus Purna Irawan, Dedy A. Sirahar, Jasson Sugandy (2006, September). *Perancangan Ulang Sepeda Elektrik Menggunakan Metode VDI 2221*. Jakarta.
- [4] Karl T Ulrich, Steven D. Eppinger, "Product Design and Development" McGrawhill, Singapore, 1995.
- [5] R.S. Khurmi, J.K. Gupta, "A Textbook of Mancine design" Eurasia Publishing House LTD, New Dehli, 2004.
- [6] Agustinus Purna Irawan,. *Diktat Elemen Mesin I*. Jakarta. 2009.
- [7] Sularso, Kiyokatsu Suga. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita. Jakarta. 2013
- [8] Ferdinand Beer, E. Russel Johnston "Vector Mechanics of Engineer: Statics and Dinamics" McGrawhill, 2004.