

## PERANCANGAN DAN ANALISA MODEL SEPEDA SIMULASI MENGACU PADA MODEL DINAMIKA DAN KINEMATIKA SEPEDA

Ridwan Solihin<sup>1)</sup>  
Vitrasia<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung  
E-mail: [ridwansolihin@yahoo.com](mailto:ridwansolihin@yahoo.com)<sup>1)</sup>, [vitra123@yahoo.co.id](mailto:vitra123@yahoo.co.id)<sup>2)</sup>

### Abstrak

Paper ini menyajikan desain sistem simulator sepeda yang dapat mensimulasikan pengemudian sepeda dalam sebuah dunia semu dengan lokasi awal dan akhir ditentukan oleh pengguna simulator atau melalui pemrograman komputer. Simulator sepeda terdiri dari sebuah sepeda normal diatas *platform* sepeda, kemudi dan sistem resistansi pedal untuk membangun *feeling* gerakan, dan sebuah simulator visual yang menghasilkan gambar-gambar dinamis untuk simulator dan menyajikan ekspresi dunia semu yang pengguna jalani. Pengendara/user dapat melihat gambar-gambar yang dihasilkan melalui monitor komputer atau melalui proyektor multimedia. Simulator sepeda merupakan satu dari banyak tantangan untuk dikembangkan karena dinamika ketidak stabilan sepeda yang tidak dapat dipisahkan dengan dinamika seorang pengendara, faktor bobot tubuh dan tenaga seseorang yang berkendara di sekitaran virtual akan berpengaruh terhadap dinamik sepeda.

Kata kunci : simulator sepeda, kemudi dan resistansi gaya pedal, navigasi sekitaran virtual

### Abstract

*This paper presents the design bicycle simulator system that can simulated a riding bicycle on a virtual world with start and the end location decided by user simulator or by computer programming. The bicycle simulator consist of a standard bicycle on the bicycle platform, a handlebar and a pedal resistance system to generate motion feelings, and a visual simulator to create dynamic images for the simulator and visually expresses virtual world in witch the user travels. A rider/user can see the created images with a monitor computer or multimedia projector. Bicycle simulator has been one of the most challenging to develop because of the inherent unstable dynamics of the bicycle that are coupled with the human rider's dynamics. Body weight faktor and human-powered vehicles moving in virtual environment has an effect to bicycle dynamic*

*Keywords : bicycle simulator, handlebar and pedal force resistance, virtual environment navigation*

### Pendahuluan

Simulator sepeda mempunyai keunikan dan tantangan tersendiri dari banyak jenis simulator-simulator yang telah dikembangkan karena pertama adanya faktor dinamika yang tidak stabil antara pengendara dan sepeda, kedua sepeda simulator tidak berjalan di bidang sebenarnya tetapi diatas *platform* yang sudah ditentukan sehingga faktor dinamika gerakan perlu dibangun untuk dapat meniru gerakan dan kejadian yang sebenarnya dan ketiga trajektori yang dilalui oleh sepeda bukan lintasan perjalanan yang sebenarnya tapi adalah lintasan perjalanan yang dibangun melalui pemrograman komputer. Simulator sepeda dapat digunakan untuk uji coba sebuah desain sepeda, pelatihan, pembelajaran, olahraga, amusement and entertainment.

Dibandingkan dengan prototipe secara fisik, eksperimen-eksperimen dengan simulator ini mempunyai banyak keuntungan, antara lain aman, hemat, privat, tidak tergantung pada lingkungan dan cuaca yang dapat mempengaruhi.

Simulator ini dapat dipergunakan *outdoor* maupun *indoor* dengan kelengkapan sistem yang harus ada yaitu fasilitas listrik, sepeda beserta platform sepeda dan PC/Laptop, sedangkan fasilitas tambahan (opsional) yang mungkin diperlukan untuk simulasi *indoor* adalah ruangan minimal 3x3m<sup>2</sup> dilengkapi dengan fasilitas listrik, ventilasi, proyektor multimedia dan standarnya.

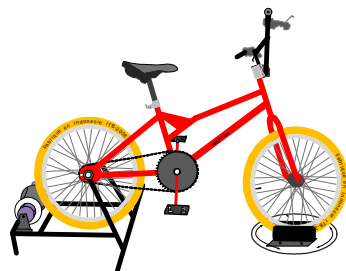
### Komponen simulator

Pada dasarnya sebuah simulator sepeda terbagi menjadi 3 bagian utama yaitu :

**Sepeda simulasi**, alat simulasi seperti sepeda yang berhubungan langsung dengan user (pengendara), alat ini digunakan untuk meniru gerakan nyata sebuah sepeda seperti kayuhan pedal, gerakan maju, percepatan, perlambatan, pengereman, perubahan arah gerak kemudi untuk penyesuaian dengan keseimbangan pengendara, dan lain sebagainya. Sehingga seorang pengendara akan merasakan seperti sedang naik sepeda. Alat ini dilengkapi dengan sensor agar dapat mendeteksi jenis gerakan yang terjadi.

**Manipulator gerakan**, digunakan juga pada banyak alat simulasi lain seperti tank simulator, flight simulator, car simulator dan lain-lain, intinya alat ini digunakan untuk meniru model gerakan dari objek sebenarnya. Kesempurnaan manipulator gerakan di tinjau dari seberapa besar kemampuan alat tersebut dalam meniru gerakan objek aslinya. Stewart telah mengembangkan manipulator untuk membangkitkan efek gerakan tersebut diatas dan dikenal luas sebagai *stewart platform*. Platform ini banyak digunakan dalam berbagai simulator gerakan termasuk juga dalam simulator sepeda.

**visual simulasi**, menyajikan simulasi gambar-gambar dinamis yang sinkron dengan gerakan sepeda, sehingga seorang pengendara dapat merasakan efek visual yang *real-time* saat menggunakan simulator sepeda. Tayangan gambar akan bergerak cepat, melambat atau bahkan berhenti bergerak sesuai dengan aktivitas gerakan yang dilakukan pengendara. Ketiga subsistem diatas harus terintegrasi satu dengan yang lainnya sehingga menghasilkan sebuah simulasi yang sinkron antara gerak sepeda yang dilakukan oleh pengendara dan efek yang terjadi pada manipulator gerakan dan visual simulator. Gambar-1 menunjukkan sebuah desain simulator sepeda



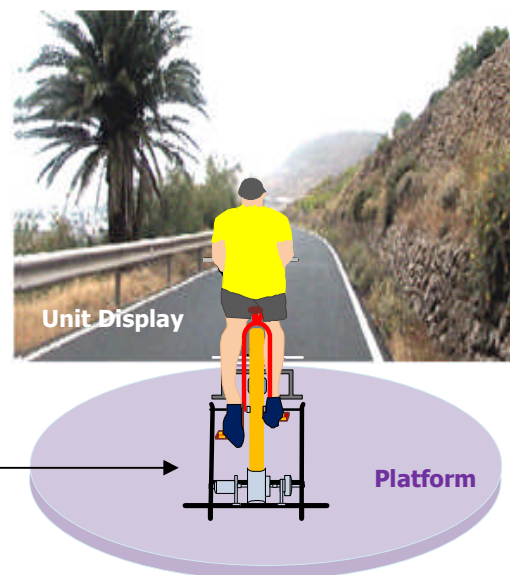
Gambar-1 Desain simulator sepeda

### Metodologi desain

Simulator sepeda ini merupakan produk software dan hardware yang menjadi suatu kesatuan yang utuh, dikembangkan untuk Personal Komputer (PC) yang menjalankan Sistem Operasi Microsoft Windows XP. Metoda desain sistem dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian hardware dan bagian software kedua bagian tersebut gabungan melalui antarmuka yang aliran datanya diatur melalui sistem dinamika sepeda.

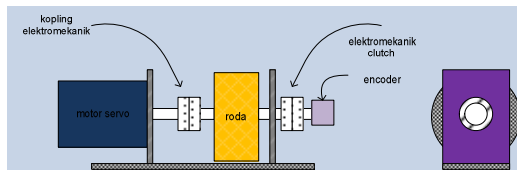
#### 1. Sistem perangkat keras simulator

Roda belakang sepeda terikat pada sistem penyangga yang disebut standar sepeda, dan bagian rodanya dihubungkan dengan subsistem resistansi gaya pedal yang terdiri dari motor servo, clutch, encoder dan roda penghubung, subsistem ini didesain dapat diatur maju-mundur agar roda penghubung dapat kontak dengan roda belakang sepeda. Fungsi dari gaya pedal secara keseluruhan memberikan gaya reaktif pada pedal sehingga pedal menjadi lebih berat atau lebih ringan. Pada saat data yang diterima dari komputer berupa database lintasan perjalanan yang menanjak maka pedal yang dikayuh oleh pengendara secara otomatis akan terasa lebih berat, gaya bertambah pada subsistem *pedal force* jika jalan menurun sehingga pedal yang dikayuh oleh pengendara terasa lebih ringan, demikian pula halnya subsistem *pedal force* tidak memberikan gaya reaktif pada saat jalan datar. Untuk mengetahui kecepatan, sub sistem *pedal force* dilengkapi dengan *encoder* yang berputar sesuai dengan kecepatan putaran ban belakang yang berfungsi untuk menentukan kecepatan sepeda.



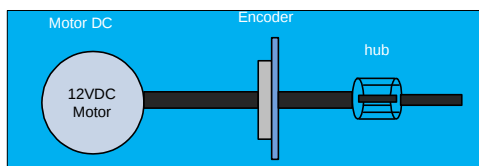
Proses pengereman merupakan bagian dari subsistem *pedal force*, dimana clutch analog akan bekerja pada subsistem *pedal force*.

Jika direm berarti seolah-olah ban mendapat gaya yang berlawanan dari putaran motor, sebaliknya bila rem dilepas tidak ada gaya yang bekerja.



Gambar-2 Struktur *pedal force resistance*

Pada bagian depan sepeda terdapat subsistem kemudi yang terdiri dari dudukan cawan roda depan untuk menempatkan roda depan supaya dapat bergerak kekiri dan kekanan, motor servo berfungsi untuk memberikan torsi pada kemudi dan encoder untuk membaca sudut putar pada sistem kemudi. Perubahan sudut kemudi akan dihitung oleh *bicycle dynamic* sebagai perubahan lintasan sepeda pada lingkungan virtual. Sub sistem kemudi juga memberikan efek getas pada kemudi bila visualisasi terrain menunjukkan permukaan jalan yang tidak rata seperti berkerikil, berlobang atau bila terjadi *collision*.



Gambar-3 Komponen subsistem kemudi

### Model sistem dinamik sepeda

Hal penting dalam simulator sepeda untuk di implementasikan adalah model dinamik dari sepeda dan pengendaranya, yang mana pemodelannya sangat bervariasi dan sangat kompleks. Beberapa permasalahan yang timbul dalam memodelkan sistem dinamik sepeda seperti:

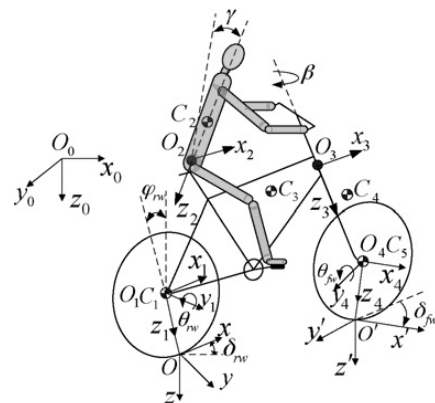
1. sepeda roda dua dapat bergerak secara bebas ke banyak arah, sehingga dapat dikatakan mempunyai derajat kebebasan yang banyak.
2. Kondisi jalan yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lain sehingga interaksi antara roda sepeda dan jalan belumlah banyak dimengerti.
3. Pengendara sepeda sangat berkontribusi pada kestabilan sepeda, secara alami manusia adalah non deterministic.

4. Efek gaya gesekan, pusat massa dan pengaruh lingkungan yang tidak semuanya dapat diabaikan.

penyederhanaan perlu dilakukan untuk membatasi beberapa variabel kompleks yang sulit dilakukan dalam memodelkan sistem dinamik sepeda, antara lain:

- (1) sistem sepeda dan pengendara terdiri dari roda belakang, bagian atas pengendara, bagian bawah pengendara sepeda bersama frame sepeda, sistem kemudi bersatu dengan roda depan.
- (2) frame sepeda dan sistem kemudi simetri dilihat dari depan maupun dari belakang.
- (3) gaya gesekan dianggap cukup besar sehingga tidak memungkinkan roda sepeda untuk slip (sudut slip pada arah longitudinal = 0).
- (4) pengaruh dari efek mengayuh dan kemudi pada penyebaran massa diabaikan.
- (5) pengendara hanya dapat bergerak miring ke sisi kiri atau ke kanan diatas sepeda.

Gambar-4 berikut menunjukkan prinsip dinamika pada sistem pengendara sepeda.



Gambar-4 sistem pengendara sepeda dan koordinat frame.

Notasi yang digunakan:

- $l_{mt}$  : *mechanical trail*.  
 $l_w$  : kontak roda.  
 $\alpha$  : *steering tube angle*.  
 $\delta_{rw}$  : yaw angle.  
 $\phi_{rw}$  : *lean angle frame sepeda*.  
 $\gamma$  : *lean angle pengendara*.  
 $\beta$  : *steering angle*.  
 $\theta_{rw}$  and  $\theta'_{rw}$  : *rotating angle roda belakang dan roda depan pada masing-masing axisnya*.  
 $\lambda$  : *gradient of a slope*.  
 $m_i$  : massa *i*th rigid body.  
 $r_i$  : position vector of the *mass center* of the *i*th rigid body with respect to *O*.  
 $\omega_i$  : angular velocity vector of the *i*th rigid body.  
 $J_{ij}^{jk}$  : element (*j, k*) of the inertial matrix of the *i*th rigid body with respect to its mass center.

$T$  and  $M_h$  : pedaling torque and steering torque exerted by the rider.

$M_{rb}$  and  $M_{fb}$ : braking torques exerted on the rear and front wheels, respectively.

$S_f$  and  $S_r$ : longitudinal scalar forces acting on the front and rear wheel by ground, respectively.

$F_f$  and  $F_r$  : side scalar forces acting on the front and rear wheel by ground, respectively.

$N_f$  and  $N_r$ : normal scalar forces acting on the front and rear wheel by ground, respectively.

Sistem dinamik dapat diturunkan dari model kinematik dan dinamik yang berpengaruh pada self-stability sepeda.

### Persamaan Sistem Kinematik

Vektor kecepatan angular dari masing-masing massa di dapat dari persamaan dibawah ini

$$\begin{cases} \omega_1 = \dot{\varphi}_{rw}x + \dot{\theta}_{rw}y + (\dot{\delta}_{rw} + \varphi_{rw}\dot{\theta}_{rw})z \\ \omega_2 = (\dot{\varphi}_{rw} + \dot{\gamma})x + \dot{\delta}_{rw}z \\ \omega_3 = \dot{\varphi}_{rw}x + \dot{\delta}_{rw}z \\ \omega_4 = (\dot{\varphi}_{rw} + \alpha\dot{\beta})x + (\dot{\delta}_{rw} + c\alpha\dot{\beta})z \\ \omega_5 = \omega_4 + \dot{\theta}_{rw}y_4 \end{cases} \quad (1)$$

Vektor posisi dari pusat massa dengan acuan O diberikan pada persamaan dua, yang merupakan fungsi dari angular variable dan parameter geometri sepeda.

$$\begin{cases} r_1 = -rz_1 \\ r_2 = r_1 + O_1O_2 + O_2C_2 \end{cases} \begin{cases} r_3 = r_1 + O_1C_3 \\ r_4 = r_1 + O_1O_3 + O_3C_4 \\ r_5 = r_1 + O_1O_3 + O_3C_5 \end{cases} \quad (2)$$

Kecepatan linear voi untuk  $O_i$  dan  $v_i$  untuk  $C_i$  ( $i=1,2,...5$ ) didapat dari persamaan dibawah ini,

$$\begin{cases} v_{O1} = v_1 = \omega_1 \times r_1 \\ v_{O2} = v_1 + \omega_3 \times O_1O_2 \\ v_2 = v_{O2} + \omega_2 \times O_2O_2 \end{cases} \begin{cases} v_3 = v_1 + \omega_3 \times O_1C_3 \\ v_{O3} = v_1 + \omega_3 \times O_1O_3 \\ v_4 = v_{O3} + \omega_4 \times O_3C_4 \\ v_5 = v_{O3} + \omega_4 \times O_3O_4 \end{cases} \quad (3)$$

Percepatan linear  $a_i$  untuk  $C_i$  adalah turunan terhadap waktu dari kecepatan linear  $v_i$ , menurut assumsi pada persamaan (3) adalah sebagai berikut ,

$$v_5 = v_{O3} + \omega_4 \times O_3O_4 = \omega_5 \times O'O_4 \Rightarrow \begin{cases} \dot{\theta}_{rw} = \dot{\theta}_{fw} \\ \dot{\delta}_{rw} = \frac{l_{ml}\dot{\beta} - r\dot{\theta}_{fw} \sin \delta_{fw}}{l_w} \end{cases} \quad (4)$$

Untuk sudut  $\delta_{fw}$  yang kecil, sudut antara  $x$  dan  $x'$ ,berhubungan dengan  $\beta$  dan sudut steering tube

$$\delta_{fw} = \cos \alpha \beta \quad (5)$$

### Persamaan Sistem Dinamik

Gaya-gaya yang bekerja sistem sepeda, inyatakan dengan persamaan Newton

$$\sum_{i=1}^5 m_i a_i = \underbrace{\sum_{i=1}^5 m_i g z_v}_{\text{gravitational force}} + \underbrace{F_{air} x}_{\text{air resistance}} + \underbrace{(N_r z + S_r x + F_r y) + (N_f z' + S_f x' + F_f y')}_{\text{ground reactions}} \quad (6)$$

- Gaya gravitasi (*gravitational force*) berkontribusi pada arah longitudinal dan gaya dari sisi ketika mengendarai pada suatu kemiringan.

$z_v$  adalah vektor unit kearah bawah arah vertikal, pada saat sepeda berjalan pada kemiringan  $\lambda$ , negatif bila menaik dan positif bila turun, vektor ini dapat ditulis

$$z_v = \sin \lambda x_0 + \cos \lambda z \quad \dots\dots\dots(7)$$

- Pada kecepatan lambat tahanan udara (*air resistance*) terhadap kecepatan sepeda dapat diabaikan tetapi pada kecepatan tinggi tahanan udara akan membesar dan menjadi gaya lawan yang sangat mempengaruhi kecepatan sepeda, sehingga tahanan udara harus dimasukkan dalam model dinamik sepeda.

$$F_{air} = \frac{1}{2} C_D A_r \rho v^2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

$C_d$  adalah drag koefisien,

$A_r$  : area bagian depan pengendara,

$\rho$  : kepadatan udara

$v$  : kecepatan udara terhadap sepeda

disini tahanan udara hanya bereaksi utk arah sumbu  $x$

- Gerakan sepeda tergantung dari reaksi ground, akan tetapi interaksi antara elastisitas roda dan ground agak kompleks, dan hasil dari analisa secara teori jauh dari realistic. Model yang digunakan dalam praktek kebanyakan secara empiris atau semi empiris. Roda sepeda diasumsikan rigid dan gaya gesekan dianggap cukup besar.

Dengan menguraikan persamaan (6) pada sumbu  $x$ ,  $y$ ,  $z$  kita dapatkan :

$$\begin{cases} S_r + S_f - \delta_{fw} F_f = A_1 \\ A_2 \ddot{\varphi}_{rw} + B_2 \ddot{\delta}_{rw} + C_2 \dot{\gamma} + D_2 \ddot{\beta} + E_2 \dot{\theta}_{rw} \\ -F_r - \delta_{fw} S_f - F_f = 0 \\ N_r + N_f = A_3 \end{cases} \quad (9)$$

Untuk mendapatkan torsi pedal persamaan Euler's memberikan

$$\begin{aligned}
& J_1 \cdot \dot{\omega}_1 + \omega_1 \times (J_1 \cdot \omega_1) \\
& = (M_{rb} - T)y_1 + M_{f1}^x x + M_{f1}^y y + M_{f1}^z z + rz_1 \\
& \quad \times (N_f z + S_f x + F_f y) + M_{21} \quad \dots (10)
\end{aligned}$$

Dimana :

$T$  = torsi pedal yang dihasilkan  
 $M_{rb}$  = torsi pengereman roda belakang  
 $M_{21}$  = vektor torsi yang dari frame sepeda yang bekerja pada roda belakang

Karena roda belakang dapat berputar bebas pada sumbu  $y_1$ , maka dapat dioperasikan sebagai cross produk untuk kedua sisi dari persamaan (10) dengan  $y_1$  dan didapatkan

$$-T + M_{rb} + rS_f + M_{f1}^y = A_7 \quad \dots (11)$$

Persamaan Euler's untuk roda depan dapat dianggap sebagai

$$\begin{aligned}
& J_5 \cdot \dot{\omega}_5 + \omega_5 \times (J_5 \cdot \omega_5) \\
& = M_{fb}y_4 + M_{f1}^x x' + M_{f1}^y y' + M_{f1}^z z' \\
& \quad + rz_4 \times (N_f z' + S_f x' + F_f y') + M_{45} \quad \dots (12)
\end{aligned}$$

Dimana  $M_{45}$  adalah vektor torsi yang dihasilkan sistem kemudi bersama dengan roda depan, karena roda depan dapat berputar secara bebas pada sumbu  $y_4$ , maka dapat dilakukan *cross product* pada kedua sisi dari persamaan (12) dengan  $y_4$  didapat

$$M_{fb} + rS_f + M_{f1}^y = A_8 \quad \dots (13)$$

Dengan  $M_{fb}$  = torsi pengereman roda depan  
 Persamaan Euler's pada system kemudi

$$\begin{aligned}
& J_4 \cdot \dot{\omega}_4 + \omega_4 \times (J_4 \cdot \omega_4) \\
& = C_4 O_3 \times R_{34} + C_4 O_4 \times R_{54} + M_{h3}z_3 + M_{34} + M_{54} \\
& \quad \dots (14)
\end{aligned}$$

$M_h$  = torsi kemudi (stang)

$M_{34}$  dan  $M_{54}$  = vektor torsi yang dihasilkan oleh frame sepeda dan roda depan yang bekerja pada sistem kemudi.

Dengan menjumlahkan persamaan (10) dan (13) kita dapatkan

$$\begin{aligned}
& J_4 \cdot \dot{\omega}_4 + \omega_4 \times (J_4 \cdot \omega_4) + J_5 \cdot \dot{\omega}_5 + \omega_5 \times (J_5 \cdot \omega_5) \\
& = C_4 O_3 \times R_{34} + C_4 O_4 \times R_{54} + M_{h3}z_3 + M_{34} \\
& \quad + M_{54} + M_{fb}y_4 + M_{f1}^x x' + M_{f1}^y y' + M_{f1}^z z' \\
& \quad + rz_4 \times (N_f z' + S_f x' + F_f y') + M_{45} \quad \dots (15)
\end{aligned}$$

Karena sistem kemudi dapat berputar bebas pada sumbu  $z_3$ , kita lakukan cross produk pada kedua sisi dari persamaan diatas dan kita dapatkan,

$$\begin{aligned}
& A_9 \ddot{\varphi}_{rw} + B_9 \ddot{\delta}_{rw} + C_9 \ddot{\beta} + D_9 \ddot{\varphi}_{rw} + E_9 \ddot{\delta}_{rw} + F_9 \ddot{\varphi}_{rw} + G_9 \ddot{\beta} \\
& + (l_{mt} s \alpha \beta + l_{mt} \varphi_{rw}) N_f + l_{mt} F_f + \sin \alpha \delta_{rw} M_{f1}^y - M_h = 0 \\
& \dots (16)
\end{aligned}$$

Persamaan (9), (11), (13) dan (16) adalah kombinasi untuk membuat persamaan dinamik sepeda secara lengkap, sedangkan persamaan (11) dan (16) berkaitan dengan kayuhan pengendara sepeda dan torsi kemudi untuk membangun subsistem resistansi gaya pedal pada simulator sepeda.

### Persamaan dinamik resistansi gaya pedal

*Pedal force subsystem* di desain menggunakan motor dc, clutch dan encoder, Untuk masalah diatas kita analisa kemungkinan terjadi pada pengendara sepeda, terutama pada gaya yang diberikan kepada pedal, selama mengendarai sepeda ada tiga keadaan yang akan muncul :

1. Pengendara tidak mengayuh, pada kasus ini motor pada pedal force tidak berputar , arus armature dan torsi tidak ada.
2. Pengendara mengayuh tetapi kecepatan lebih kecil dari kecepatan putar roda belakang pada sepeda yang nyata, maka dia tidak akan merasakan gaya tahanan, motor pada sub system ini berputar karena adanya arus masuk yang dikontrol.
3. Pengendara mengayuh untuk mempercepat laju sepeda, maka dia akan merasakan gaya tahanan, dalam hal ini arus armature and torsi

Model dinamik dari *Pedal force subsystem* dan *pengendara – sepeda* dari persamaan Euler's

$$T' - M'_{motor} = J_p \ddot{\theta} + c_p \dot{\theta} \quad \dots (17)$$

dimana :

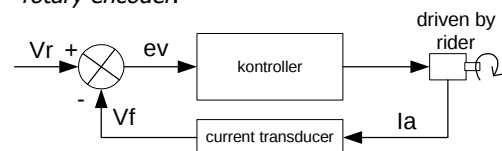
$T'$  = adalah torsi yang diberikan pengendara pada pedal,

$M_{motor}$  = electromagnetic torque lawan pada *flywheel*(roda kecil),

$J_p$  = ekuivalen moment inertia dari subsistem resistansi gaya pedal yang bekerja pada sumbu putar *flywheel*,

$C_p$  = the viscous friction coefficient ,

$\theta$  = sudut putar dari *flywheel* dan didapatkan dari *rotary encoder*.



Gambar 5. Alur kontrol dari motor pada *Pedal Force device*.

Persamaan (11) memberikan deskripsi torsi yang dilakukan oleh pedal, perangkat gaya pedal bertujuan memberikan perasaan yang nyata pada saat mengayuh sepeda dalam bentuk torsi lawan saat mengayuh pedal, artinya persamaan (11) dan (17) harus sama.

$$T' = -T$$

Dimana tanda minus berarti bahwa arah positif dari torsi pedal berlawanan dengan yang terdapat pada model dinamik sistem sepeda. Seperti padamotor DC, jika struktur dan eksitasi konstan, persamaan menjadi

$$M_{motor} = KT I_a \quad \dots\dots (18)$$

Dimana  $KT$  = konstan koefisien terkait dengan struktur motor dan eksitasi

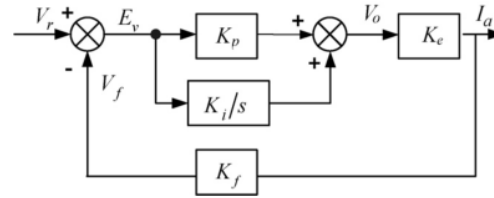
$I_a$  = arus armature

Jika Sistem dinamik pengendara-sepeda dapat dihitung, Torsi elektromagnetik dapat dicari dari persamaan (11) dan (17) dan  $I_a$  dari persamaan (18).

#### Kendali subsistem resistansi gaya pedal

Persamaan (11), (16) dan (18) memberikan kesempatan untuk mensimulasikan torsi dari pedal dengan mengontrol arus armature motor. Pengendara mendrive motor untuk membangkitkan arus armature yang di deteksi oleh *current transducer*, kemudian keluaran dari transducer dibandingkan dengan referensi masukan dan perbedaan dari kedua sinyal tersebut digunakan untuk mendrive controller untuk mengatur arus armature. Torsi elektromagnetik yang berhubungan dengan armature dapat dibuat untuk mengikuti harga yang diinginkan. Rangkaian kendali untuk gambar 5. diberikan dalam gambar 6. Referensi sinyal input  $V_r$  ditransformasikan dari perhitungan torsi elektromagnetik  $M_{motor}$  dan sinyal umpan balik  $V_f$  adalah arus output dari Transducer. Perbedaan dari kedua sinyal ini diatur oleh rangkaian PI untuk mengontrol arus armature.

Gambar 6. Rangkaian Kontrol Arus Untuk Sistem Pedal Force



Gambar 7. Blok diagram subsistem *pedal force*

Dengan asumsi bahwa operasional amplifier ideal, maka tegangan keluaran dari rangkaian PI adalah:

$$V_o = \frac{R_f}{R_1 + R_2} (V_r - V_f) + \frac{1}{C(R_1 + R_2)} \int (V_r - V_f) dt \quad \dots (19)$$

dengan  $V_r - V_f = e_v$

$$V_o = \frac{R_f}{R_1 + R_2} e_v + \frac{1}{C(R_1 + R_2)} \int e_v dt \quad \dots\dots (20)$$

Proportional and integral koefisien

$$K_p = \frac{R_f}{R_1 + R_2} \quad \text{dan} \quad K_i = \frac{1}{C(R_1 + R_2)}$$

Resistansi  $R_1$ ,  $R_2$  and  $R_f$  dapat diubah untuk memperbaiki kualitas kontrolnya.

Sebagai tambahan jika semua trioda pada gambar-10 bekerja dalam daerah penguat, maka arus armature dapat dianggap proporsional terhadap tegangan  $V_o$ .

$$I_a = K_e V_o \quad \dots\dots (21)$$

Seluruh blok kontrol diagram diperlihatkan pada Gambar 7. Sehingga dapat diambil kesimpulan Bahwa Torsi Elektromagnetik dapat dikontrol secara tidak langsung dengan mengontrol besaran Arus Armatur, sehingga ketiga kondisi saat bersepeda dapat direalisasi dengan *sistem pedal force* ini.

#### Persamaan Dinamik kemudi

Sistem dinamik kemudi dibuat dengan mempertahankan stang kemudi dan garpu serta roda depan, sebuah motor DC yang dilengkapi dengan gear dipasang dibawah cawan pemutar roda depan (lihat gambar 8). Motor DC ini memberikan torsi maksimum pada kemudi dan memenuhi syarat untuk kondisi normal, selain itu sebuah *rotary encoder* diset untuk mengukur informasi sudut  $\beta$  dari *handlebar* untuk menghitung model dinamik sistem kemudi. Dinamika perangkat dinamik sistem kemudi sepeda dapat ditulis dengan

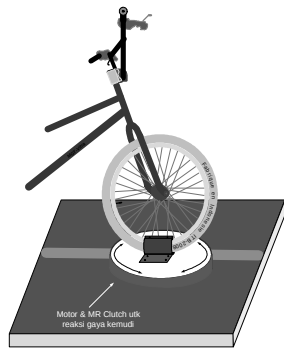
$$M_h - M_{h\text{motor}} = J_h \ddot{\beta} + c_h \dot{\beta} \quad \dots\dots (22)$$

Dimana:

$M_h$  : torsi dari steering pegemudi.

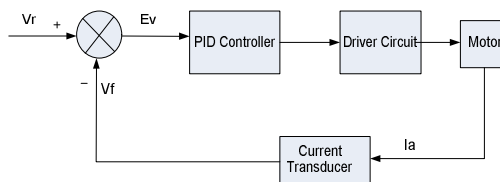
$M_{h\text{motor}}$  : torsi lawan dari motor DC sepanjang sumbu kemudi,

- $J_h$  : momen inersia ekuivalen dari subsistem sepanjang sumbu kemudi  
 $ch$  : koefisien gesekan viscous sepeda yang bekerja pada *virtual environment*

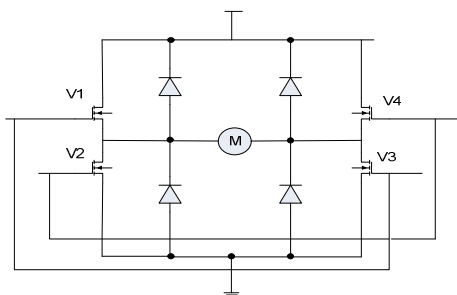


Gambar 8. Sistem kemudi

perangkat sistem kemudi bertujuan membuat pengendara merasa mengendarai sepeda seperti kenyataan sebenarnya, Perangkat ini bekerja dengan mengendalikan secara tidak langsung torsi elektromagnetik melalui kendali arus armature.



Gambar 9.. Aliran kontrol motor dalam sistem kemudi



Gambar 10. Rangkaian Kontrol Motor H-bridge

## 2. Sistem Perangkat Lunak Simulator

Sistem perangkat lunak simulator sepeda terbagi menjadi beberapa modul :

### Modul Komunikasi Data

Komunikasi data berfungsi untuk mengolah sinyal-sinyal data digital berupa informasi-informasi tentang posisi kemudi sepeda apakah belok ke kiri,

ke kanan atau lurus, kecepatan sepeda berjalan, posisi rem sepeda. Selain untuk itu, komunikasi data ini juga berfungsi untuk mengirimkan informasi berapa banyak putaran motor yang harus diberikan ke motor untuk melakukan pengurangan kecepatan sepeda pada saat menanjak, pengereman dan menggerakkan platform sepeda ke unit controller.

### Modul *Bicycle Dinamic Equation Calculator*

Modul kendali ini berfungsi untuk mengindra sinyal-sinyal listrik yang berasal dari sensor-sensor *steering position sensor*, rem dan kecepatan kayuhan pedal sepeda untuk diolah lebih lanjut dan dikirimkan ke modul komunikasi data di PC untuk diolah lebih lanjut oleh modul visualisasi grafik. Subsistem kendali ini juga menerima sinyal informasi dari komunikasi data berupa sinyal gerakan untuk menjalankan *Platform sepeda* supaya sepeda bisa bergerak sesuai dengan yang diinginkan

### Modul Visual Simulator

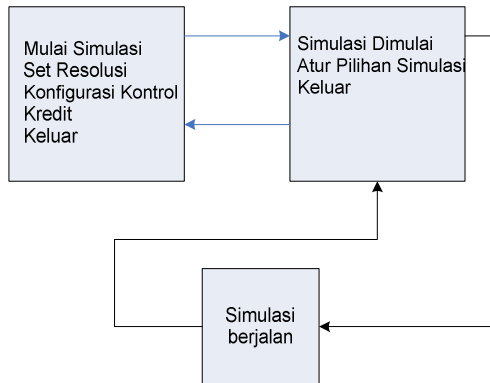
Modul ini berfungsi untuk melakukan visualisasi lingkungan virtual yang realistis yang dilengkapi dengan sepeda dan pengendara sesuai dengan keadaan sepeda pada lingkungan yang sebenarnya.

### Modul Database Terrain

Modul ini berfungsi untuk menyimpan database lingkungan virtual berupa rute jalan, pohon, keadaan jalan yang akan diolah dan ditampilkan oleh modul visual simulator sehingga visual grafik yang ditampilkan ke layar PC/laptop merupakan representasi dari lingkungan pada keadaan sebenarnya

Pemrograman simulator sepeda dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C++ yang disediakan oleh software Microsoft Visual Studio C++.NET 2005, 3D Engine Irrlicht 1.4.1 SDK dan Physic Engine CHRONO. Kedua engine tersebut merupakan mesin simulasi lingkungan 3D dan fisik yang digunakan untuk menghadirkan simulasi realistik baik game atau simulasi. *Bicycle Simulator* menggunakan kedua mesin tersebut untuk menghadirkan gerakan dan fisik yang realistik untuk mensimulasikan sepeda di dunia nyata.

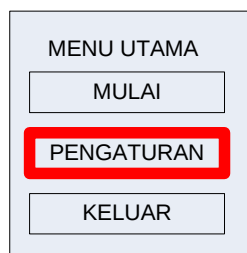
Sistem ini didesain sedemikian rupa agar mudah dioperasikan tanpa banyak memerlukan pengaturan baik dari segi hardware maupun software sehingga simulator sepeda dapat dipergunakan bagi semua usia. Pengguna dapat dengan mudah menjalankan simulator, memulai dan mengakhiri simulasi dengan nyaman.



Gambar 11. Diagram Konteks Simulator yang akan dibuat

### Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna terdiri dari sejumlah jendela dengan Windows XP. Dalam antarmuka ini pengguna bisa memilih kendali masukan dari keyboard atau diperoleh dari port serial yang datanya berasal dari sepeda simulasi. Tiap layar menu memiliki sejumlah area dalam hal ini ditampilkan sebagai kotak hitam jika tidak dipilih dan kotak merah jika dipilih yang mana pengguna mampu untuk menggulung secara berurutan dengan menggunakan tombol Up atau Down keys atau mouse. Setelah suatu daerah dipilih, daerah tersebut bisa diaktifkan dengan mengklik sebuah tombol atau mouse. Hal ini akan menimbulkan aksi-aksi tertentu sesuai dengan penekanan atau klik pada menu yang bersangkutan.



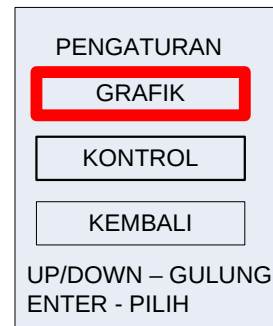
Gambar 12. Menu Utama

Arti dari menu-menu diatas yaitu:

Mulai - Berpindah ke layar menu mulai simulasi

Pengaturan - Berpindah ke layar menu pengaturan  
Keluar - Keluar dari program simulasi

Layar menu berikut mengijinkan pengguna untuk mengubah pengaturan simulasi dan kontrol yang akan dilakukan. Posisi awal dalam kotak pemilihan adalah pada grafik.



Gambar 13. Pengaturan Simulasi

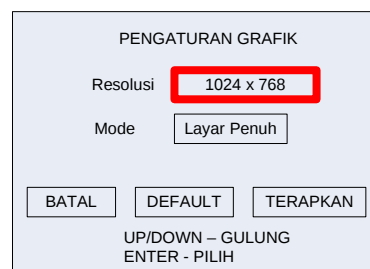
Arti dari menu-menu diatas yaitu:

Grafik - Berpindah ke layar menu grafik

Kontrol - Berpindah ke layar menu kontrol

Kembali - Kembali ke menu utama

Pada menu pengaturan grafik mengijinkan pengguna untuk mengubah pengaturan simulasi. Posisi awal yang dipilih adalah resolusi.



Gambar 14. Pengaturan Grafik

Resolusi - mengubah resolusi layar simulator dengan nilai 800x600, 1024x768, 1280x800 (default adalah 1024x768)

Mode - mengubah layar simulator apakah akan berjalan dalam mode jendela atau mode layar penuh

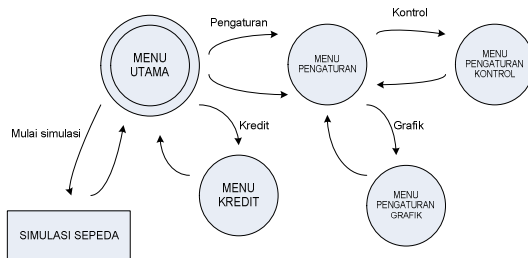
Batal - Membatalkan semua perubahan oleh pengguna dan kembali ke menu pengaturan

Default - Mengembalikan pengaturan grafik ke keadaan semula

Terapkan - Menyimpan perubahan yang dibuat oleh pengguna

Bahasan diatas merupakan gambaran antarmuka software yang akan dibuat sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam mendesain software ini. Selain gambaran antarmuka tersebut, maka perlu dibuat juga implementasi dari gambaran antarmuka tersebut sehingga tampilan yang disajikan bisa dieksekusi dengan baik sesuai dengan fungsinya. Tampilan-

tampilan pada menu Bicycle Simulator ini menggunakan Microsoft visual studios's C++.NET 2005 ditambah 3D Render Engine Irrlicht dan untuk untuk memulai simulasi ini untuk tampilan grafiknya bisa menggunakan DirectX atau OpenGL. Berikut ini disajikan *Interface Sequence Diagram* dari software yang akan dibuat:



Gambar 15. Interface Sequence Diagram

### Desain Software

Untuk merealisasikan desain software, dalam rekayasa perangkat lunak digunakan pendekatan terstruktur dan berorientasi objek. Dalam paper ini desain software menggunakan pendekatan berorientasi objek karena lebih dinamis, lebih luwes serta mampu mengakomodasi kebutuhan-kebutuhan yang Diperlukan dalam desain software.

### Analisis

faktor dinamika yang tidak stabil antara pengendara dan sepeda, faktor bobot tubuh dan kekuatan kayuhan pedal untuk setiap orang berpengaruh terhadap kalkulasi sistem resistansi gaya pedal dan sistem kemudi, efek yang timbul dari ketidak stabilan adalah perubahan arah gerak gambar menjadi lebih sulit untuk divisualkan.

Solusi terhadap permasalahan diatas adalah dengan penyederhanaan pemodelan, misalnya gaya gesekan dianggap cukup besar sehingga tidak memungkinkan roda sepeda untuk slip, efek penyebaran massa akibat gerakan mengayuh pedal dan diabaikan

### Kesimpulan

Implementasi rangkaian kendali untuk sistem resistansi pedal dan sistem kemudi sebuah simulator sepeda dapat diturunkan melalui kalkulasi matematis,

Torsi Elektromagnetik dapat dikontrol secara tidak langsung dengan mengontrol besaran Arus Armatur, sehingga ketiga kondisi saat bersepeda (pengendara mengayuh, pengendara mengayuh dengan kecepatan lebih kecil dari kecepatan putar roda dan pengendara mengayuh untuk mempercepat laju sepeda) dapat direalisasi dengan *sistem pedal force* ini.

Perangkat sistem kemudi direalisasi untuk mengontrol secara tidak langsung torsi elektromagnetik dengan mengontrol arus armature.

### Daftar Pustaka

- Nag-In Kim. (1999). "Robust motion control of Stewart platform manipulator and Its application to the vibration control of slender structure," Ph.D Thesis, KAIST.
- Hartwig Distler, "Bicycle Simulator".  
<http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/bu/people/mad/projects/bicycle/bicycle.html>
- Dan Maynes and Aminzade. "A Virtual Reality Bicycle-Simulator",  
<http://www.cmu.edu/adm/uri/surgfellows98/maynes-inzade.html>
- Wang Yu, Stefan Bergstrom, Lars Anderson.  
 "A True Bicycle simulator",  
[http://www.drc.ntu.edu.sg/groups/drc\\_www/projects\\_vr/bicycle\\_simulator/index.Epl](http://www.drc.ntu.edu.sg/groups/drc_www/projects_vr/bicycle_simulator/index.Epl)
- Brian Beckman. (2002). "The Physics of Racing",  
<http://phors.locost7.info/contents.htm>,  
 Burbank, CA 91503.
- O. Trescases, S. O'Loughlin. "Smart Motor Controller for E-bike Applications", University of Toronto, Toronto.
- Dr. Bo.I. Sanden. "Implementation of state machines with tasks and protected objects",  
[http://www.sigad.org.ada\\_letters/june200/sandenpdf.pdf](http://www.sigad.org.ada_letters/june200/sandenpdf.pdf)
- O.Staedeli, " Design and Application of Synchronous Clutch Couplings".  
<http://www.artec-machine.com>