

PEMODELAN DAN SIMULASI NUMERIK PLATFORM MEKANIK SIMULATOR SEPEDA MOTOR

Leonardo Gunawan, Rianto Adhy Sasongko, Hadyan Hafizh

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
gun@ae.itb.ac.id

Abstrak

Paper ini mendiskusikan tentang salah satu tahap dalam pengembangan simulator sepeda motor, yaitu aktivitas yang terkait dengan pemodelan, simulasi, dan analisis konfigurasi platform mekanik simulator. Platform simulator adalah suatu sistem mekanik yang berfungsi untuk merekonstruksi gerak sepeda motor secara fisik. Dengan kata lain, sistem mekanik ini berfungsi sebagai penerjemah harga variabel gerak yang telah dihitung secara numerik menjadi gerakan fisik yang merekonstruksi gerakan sepeda motor sesungguhnya. Sistem mekanik ini harus dirancang agar dapat melakukan gerakan pada semua derajat kebebasan yang direpresentasikan oleh model matematik sistem. Pada pengembangan platform simulator ini, dipilih suatu konfigurasi dasar mekanisme simulator yang dipandang mampu merekonstruksi gerak utama sepeda motor. Konfigurasi dasar ini menggunakan 3 aktuator yang akan bergerak secara simultan untuk merekonstruksi gerak utama sepeda motor, yaitu heave, pitch, roll, dan yaw (terbatas). Perintah atau sinyal referensi dari simulator dinamik numerik harus ditransformasi terlebih dahulu melalui sebuah operator yang akan menerjemahkan sinyal referensi tersebut menjadi harga defleksi ketiga aktuator yang terpasang pada platform. Untuk menguji kemampuan konfigurasi mekanisme ini dalam merekonstruksi gerakan yang diinginkan, dibangun suatu model numerik linkage mekanik platform ini dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB/SIMMECHANICS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi dasar yang digunakan dapat merekonstruksi gerak utama sepeda dalam batas-batas tertentu. Informasi yang diperoleh dari simulasi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk memodifikasi konfigurasi platform.

Keywords: platform mekanik, simulator, simulasi numerik

1. Pendahuluan

Sepeda motor adalah salah satu alat transportasi yang paling populer di Indonesia karena murah dan dipandang cocok dengan kondisi jalan dan lalu lintas, serta karakteristik mobilitas masyarakat di Indonesia. Karena itu jumlah pengguna sepeda motor di Indonesia cukup besar, dan sangat berpengaruh pada perilaku pengguna jalan raya di Indonesia, baik pengguna sepeda motor itu sendiri ataupun pengguna kendaraan lainnya. Pada sisi lain, jumlah pemakai yang sangat besar sebenarnya memiliki potensi ekonomi yang baik, terkait dengan pengembangan industri sepeda motor Indonesia. Karena itu, pengetahuan dan teknologi sepeda motor perlu dikuasai, agar jika diperoleh suatu kondisi yang memungkinkan, Indonesia dapat mengembangkan industri sepeda motornya sendiri.

Dengan latar belakang kondisi tersebut di atas, dilakukan riset pengembangan simulator sepeda motor,

yaitu suatu perangkat yang secara fisik mampu merekonstruksi gerak dinamik sepeda motor saat bermanuver/beroperasi [6]. Pengembangan simulator ini ditujukan untuk memperoleh pemahaman secara komprehensif tentang dinamika sistem sepeda motor. Perangkat yang dikembangkan ini nantinya dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam melakukan proses desain dan analisis konfigurasi sepeda motor. Lebih lanjut, perangkat ini dapat pula dikembangkan sebagai alat untuk mengevaluasi kemampuan mengemudi sepeda motor (riding simulator) [1].

Salah satu bagian dari simulator sepeda motor yang dikembangkan adalah suatu platform mekanik sebagai penerjemah harga variabel gerak, yang dihitung secara numerik, menjadi gerakan fisik sebagai rekonstruksi gerakan sepeda motor sesungguhnya. Sistem mekanik ini harus dirancang agar dapat melakukan gerakan pada semua derajat kebebasan yang direpresentasikan oleh model matematik.

Pada makalah ini akan dibahas salah satu proses



pengembangan platform mekanik, yaitu pembentukan model numerik dan simulasi platform mekanik, yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan konfigurasi platform yang dipilih dalam merekonstruksi gerakan dinamik sepeda motor. Makalah ini disusun dengan sistematika berikut.

Bagian kedua makalah ini akan memberikan beberapa gambaran tentang sistem platform mekanik simulator. Konfigurasi platform yang dipilih pada penelitian ini akan dibahas pada bagian ketiga, dilengkapi dengan penjelasan tentang proses penentuan operator transformasi yang bertugas menerjemahkan sinyal respon gerak sepeda motor menjadi perintah defleksi aktuator platform mekanik. Bagian keempat akan menjelaskan secara singkat tentang model numerik platform simulator. Pada bagian kelima, beberapa hasil simulasi numerik gerak platform akan ditampilkan dan dibahas. Bagian keenam akan mengakhiri makalah ini dengan beberapa kesimpulan dan saran untuk pengembangan platform selanjutnya.

2. Platform Mekanik Simulator

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, sistem mekanik simulator berfungsi sebagai bagian yang mewujudkan gerakan fisik sebagai rekonstruksi gerakan sepeda motor sesungguhnya, berdasarkan data harga variabel gerak yang dihitung secara numerik. Sistem mekanik ini harus dirancang agar sistem linkage yang digunakan mampu memproduksi gerakan pada semua, atau beberapa, derajat kebebasan sesuai dengan gerakan yang dihasilkan oleh simulasi model matematik. Pada platform ini juga akan terpasang sistem pendukung yang meliputi sistem aktuator, sensor, antarmuka, sistem monitoring dan pengendali (command center).



Gambar 1. Satu jenis platform mekanik simulator sepeda motor [3]

Karena platform ini terdiri dari sistem mekanik dan juga dilengkapi dengan berbagai sistem aktuator dan sensor

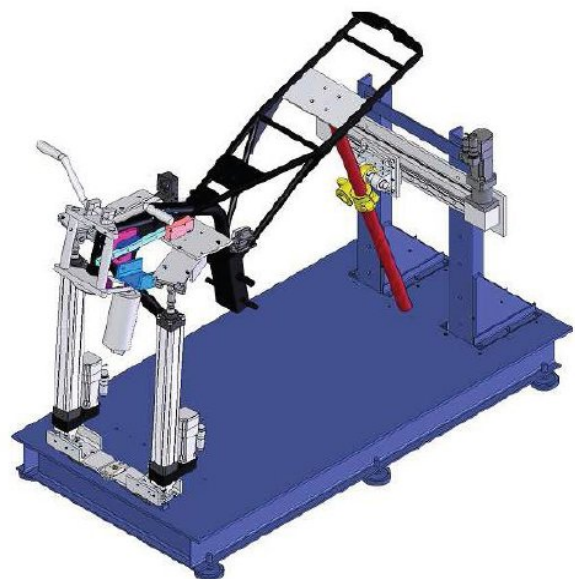
yang dapat berdomain mekanikal-hidrolik-elektrikal, maka secara keseluruhan platform ini akan memiliki karakteristik dinamikanya sendiri. Karakteristik dinamik ini tentunya akan mempengaruhi kemampuan sistem mekanik ini dalam mengikuti perintah referensi gerakan yang dihasilkan dari hasil perhitungan model matematik. Karena itu perilaku dan karakteristik dinamik sistem platform harus dikaji dan menjadi bagian proses pengembangan simulator secara keseluruhan.

3. Konfigurasi Platform Mekanik

3.1 Deskripsi Fisik

Berbagai konfigurasi platform mekanik telah dikembangkan oleh peneliti di berbagai negara di dunia [1], [2], [3], [5]. Tiap konfigurasi platform menggunakan jenis linkage/mechanisme gerak yang berbeda, dan dengan sendirinya akan memiliki kemampuan dan karakteristik yang berbeda.

Dalam pengembangan simulator sepeda motor yang dilakukan di FTMD ITB, sebagai langkah awal dipilih satu konfigurasi platform yang dikembangkan oleh Nehaoua [3], [4]. Tujuan pengembangan konfigurasi platform mekanik ini adalah untuk menyediakan alat latihan bagi pengendara pemula pada kondisi lalu-lintas yang normal. Kemudian tujuan dari simulator ini juga untuk sebagai alat perekonstruksi sensasi berkendara pada beberapa situasi khusus seperti saat pengeraman mendadak, jatuh, ataupun menghindari dari sepeda motor yang lain. Dengan memberikan sensasi-sensasi tersebut maka perilaku pengendara dapat dipelajari dengan lebih mendalam. Gambar simulator platform mekanik yang akan digunakan dapat dilihat sebagai berikut:

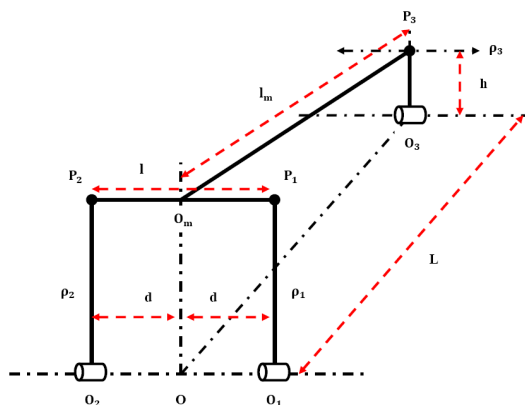


Gambar 2. Konfigurasi awal Platform Mekanik yang akan dikembangkan [3]

Platform yang dipilih ini menggunakan 3 aktuator utama untuk menghasilkan gerak rekonstruksi: 2 aktuator dipasang pada struktur pendukung bagian depan yang dapat bergerak bersamaan (magnituda sama) ataupun berlawanan arah (magnituda berbeda) pada bidang vertikal. Aktuator ketiga dipasang pada bagian belakang platform yang dapat bergerak pada bidang horisontal untuk menghasilkan gerakan lateral. Dengan ketiga aktuator tersebut, konfigurasi platform ini dapat merekonstruksi gerak rotasi *pitching*, rotasi *rolling*, dan rotasi *yawing* (terbatas), serta *heaving* (terbatas).

3.2 Operator Transformasi

Untuk menghasilkan gerakan rotasi utama sepeda motor, maka ketiga aktuator yang digunakan harus bekerja secara simultan, atau dengan kata lain, suatu gerak tertentu, misalnya rotasi pada sumbu tertentu, akan diwujudkan secara fisik pada platform melalui perintah untuk mendefleksikan ketiga aktuator dengan kombinasi tertentu. Sebuah operator transformasi harus dibangun untuk untuk menerjemahkan gerakan yang diinginkan tersebut menjadi perintah defleksi ketiga aktuator. Secara skematik, konfigurasi platform yang digunakan dapat digambarkan sebagai berikut [3] :



Gambar 3. Skema linkage platform (kondisi statis/diam)

Beberapa parameter utama platform ini, yang terkait dengan geometri konfigurasi, dapat dilihat pada Gambar 3. Pada saat bergerak, maka gerakan platform ini akan direferensikan pada suatu titik acuan yang terletak pada bagian tengah linkage melintang di bagian depan, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.

Untuk mendeskripsikan pergerakan titik referensi platform, maka perlu didefinisikan hal-hal berikut:

- Vektor $\mathbf{R}(\mathbf{O}, \mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$ adalah referensi diam, sedangkan vector $\mathbf{R}_m(\mathbf{O}_m, \mathbf{i}_m, \mathbf{j}_m, \mathbf{k}_m)$ adalah referensi gerak dari simulator platform.
- $\mathbf{O}_1, \mathbf{O}_2, \mathbf{O}_3$ adalah titik tumpu terhadap kedudukan simulator, sedangkan $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3$ adalah titik tumpu terhadap bagian atas dari simulator platform.

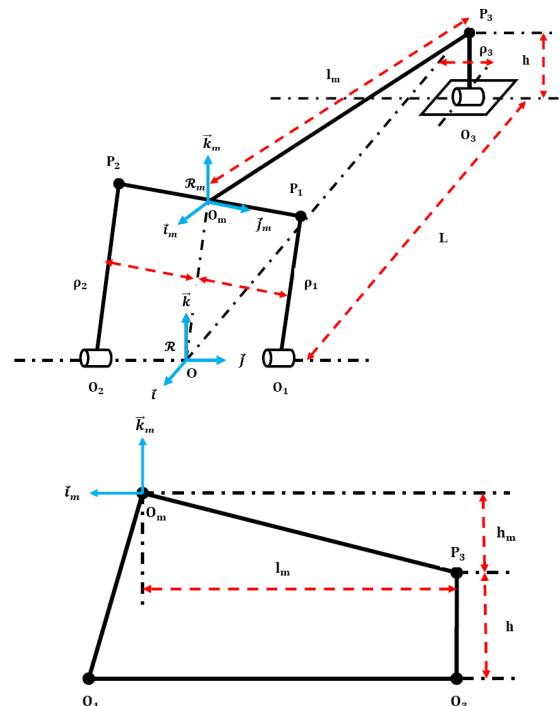
- \mathbf{R}_m dikarakterisasi oleh:
 - $(\mathbf{x}_m, \mathbf{y}_m, \mathbf{z}_m)$ terhadap koordinat awal.
 - Tiga sudut orientasi Euler (ψ, θ, φ) .

Dengan mengambil konvensi arah putaran Z-Y-X (yaw, pitch, roll) maka operator transformasi sudut orientasi pada titik referensi dapat dinyatakan sebagai

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_\psi \mathbf{R}_\theta \mathbf{R}_\varphi \quad (1a)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{11} & \mathbf{r}_{12} & \mathbf{r}_{13} \\ \mathbf{r}_{21} & \mathbf{r}_{22} & \mathbf{r}_{23} \\ \mathbf{r}_{31} & \mathbf{r}_{32} & \mathbf{r}_{33} \end{bmatrix} \quad (1b)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\theta\cos\psi & -\cos\psi\sin\theta & \cos\psi\sin\theta\cos\varphi + \sin\psi\sin\varphi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\theta\sin\psi & -\cos\psi\cos\theta & \cos\psi\sin\theta\sin\varphi - \sin\psi\cos\varphi \\ -\sin\theta & \sin\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\theta \end{bmatrix} \quad (1c)$$



Gambar 4. Definisi titik acuan dan orientasi gerak : pandangan isometris (atas) dan pandangan samping (bawah)

Selanjutnya perlu ditentukan matriks transformasi yang menerjemahkan input sudut gerakan menjadi output gerakan defleksi aktuator platform. Matriks transformasi ini dapat dilihat sebagai suatu hubungan yang menentukan harga vektor (ρ_1, ρ_2, ρ_3) sebagai fungsi dari vektor sudut orientasi platform (ψ, θ, φ) .

Jika vektor koordinat kedua cylindrical joints \mathbf{O}_1 & \mathbf{O}_2 , dan koordinat vektor kordinat $\mathbf{O}_m \mathbf{P}_3^m$ dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mathbf{O}_m \mathbf{P}_1^m &= [0 \quad 1 \quad 0]^T \\ \mathbf{O}_m \mathbf{P}_2^m &= [0 \quad -1 \quad 0]^T \\ \mathbf{O}_m \mathbf{P}_3^m &= [-l_m \quad 0 \quad -h_m]^T\end{aligned}\quad (2)$$

dan vektor \mathbf{OP}_3 dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mathbf{OP}_3 = \mathbf{OO}_m + \mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_3$$

$$\begin{bmatrix} -L \\ \rho_3 \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -l_m \\ 0 \\ -h_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

di mana L , l_m , h_m , dan h adalah konstanta geometri, dan kemudian ρ_3 , x_m , y_m , and z_m adalah variabel yang tidak diketahui, maka posisi dari \mathbf{O}_m dan perpindahan lateral ρ_3 dapat dihitung dengan menggunakan hubungan berikut:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L + l_m r_{11} + h_m r_{13} \\ \rho_3 + l_m r_{21} + h_m r_{23} \\ h + l_m r_{31} + h_m r_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Tetapi karena platform mempunyai batasan mekanik yang meniadakan komponen gerak arah y pada koordinat referensi diam R ($y_m=0$), maka hubungan (4) akan menjadi :

$$\begin{aligned}\rho_3 &= -l_m r_{21} - h_m r_{23} \\ x_m &= -L + l_m r_{11} + h_m r_{13} \\ z_m &= h + l_m r_{31} + h_m r_{33}\end{aligned}\quad (5)$$

Selanjutnya vektor kaki platform 1 dapat dinyatakan dengan hubungan berikut :

$$\mathbf{O}_1 \mathbf{P}_1 = \mathbf{O}_1 \mathbf{O} + \mathbf{OO}_m + \mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_1 \quad (6)$$

Dan komponen vektor $\mathbf{O}_1 \mathbf{P}_1 = \rho_1 \hat{\mathbf{u}}_1$ dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\rho_1 \hat{\mathbf{u}}_1 = \begin{bmatrix} -L + l_m r_{11} + h_m r_{13} + l r_{12} \\ -d + l r_{22} \\ h + l_m r_{31} + h_m r_{33} + l r_{32} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Karena P_1 dan O_1 , serta P_2 dan O_2 mempunyai harga komponen arah- y yang sama (gerakan simetrik), maka $d = l r_{22}$, sehingga :

$$\rho_1 \hat{\mathbf{u}}_1 = \begin{bmatrix} -L + l_m r_{11} + h_m r_{13} + l r_{12} \\ 0 \\ h + l_m r_{31} + h_m r_{33} + l r_{32} \end{bmatrix} \quad (8)$$

di mana $\hat{\mathbf{u}}_1$ adalah vector satuan untuk kaki platform 1, dan $\|\rho_1\| = \rho_1^2 = (\mathbf{O}_1 \mathbf{P}_1)^T \cdot (\mathbf{O}_1 \mathbf{P}_1)$ adalah panjang kaki platform 1.

Untuk kaki platform 2, di mana berlaku hubungan

$$\mathbf{O}_2 \mathbf{P}_2 = \mathbf{O}_2 \mathbf{O} + \mathbf{OO}_m + \mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_2 \quad (9)$$

dengan cara yang sama akan diperoleh hubungan berikut:

$$\rho_2 \hat{\mathbf{u}}_2 = \begin{bmatrix} -L + l_m r_{11} + h_m r_{13} - l r_{12} \\ 0 \\ h + l_m r_{31} + h_m r_{33} - l r_{32} \end{bmatrix} \quad (10)$$

di mana $\hat{\mathbf{u}}_2$ adalah vector satuan untuk kaki platform2 , dan $\|\rho_2\| = \rho_2^2 = (\mathbf{O}_2 \mathbf{P}_2)^T \cdot (\mathbf{O}_2 \mathbf{P}_2)$ adalah panjang kaki platform 2.

Dengan demikian hubungan antara besar sudut sikap platform dengan defleksi ketiga aktuator serta besar perpindahan (translasi) titik referensi platform dinyatakan oleh persamaan (5), (7), dan (10), dengan $y_m=0$.

Sedangkan hubungan antar kecepatan sudut dan kecepatan perubahan panjang aktuator dinyatakan oleh persamaan berikut.

$$\dot{\rho}_1 = \mathbf{O} \dot{\mathbf{O}}_m \cdot \hat{\mathbf{u}}_1 + (\mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_1 \times \hat{\mathbf{u}}_1) \cdot \boldsymbol{\Omega} \quad (11)$$

$$\dot{\rho}_2 = \mathbf{O} \dot{\mathbf{O}}_m \cdot \hat{\mathbf{u}}_2 + (\mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_2 \times \hat{\mathbf{u}}_2) \cdot \boldsymbol{\Omega}$$

$$\dot{\rho}_3 = \mathbf{O} \dot{\mathbf{O}}_m \cdot \hat{\mathbf{j}} + (\mathbf{R} \cdot \mathbf{O}_m \mathbf{P}_3 \times \hat{\mathbf{j}}) \cdot \boldsymbol{\Omega}$$

di mana

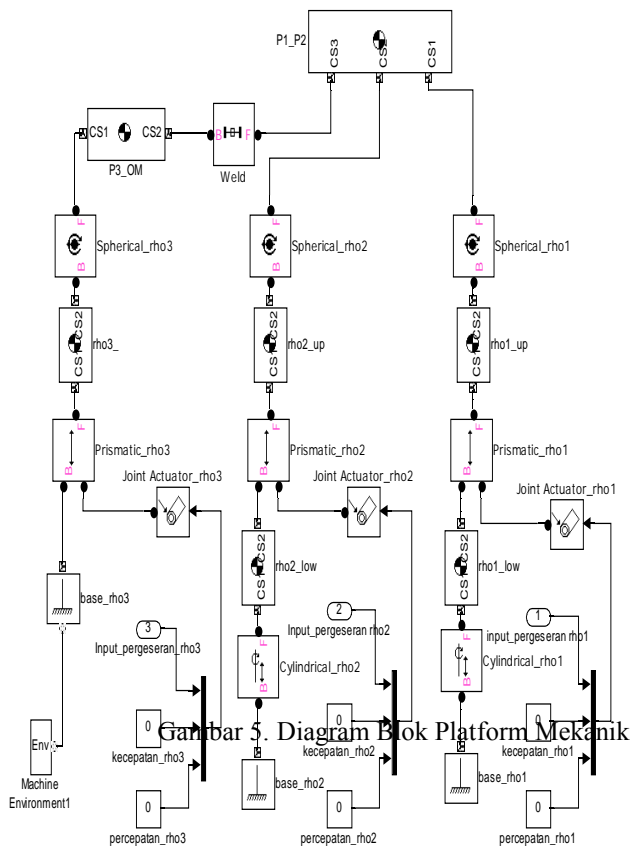
$$\boldsymbol{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin\psi & \cos\theta\cos\psi \\ 0 & \cos\psi & \cos\theta\sin\psi \\ 1 & 0 & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

Selanjutnya, matrix transformasi yang telah diturunkan di atas akan digunakan pada pembentukan model simulasi numerik. Penjelasan lebih detil dapat dilihat pada [10].

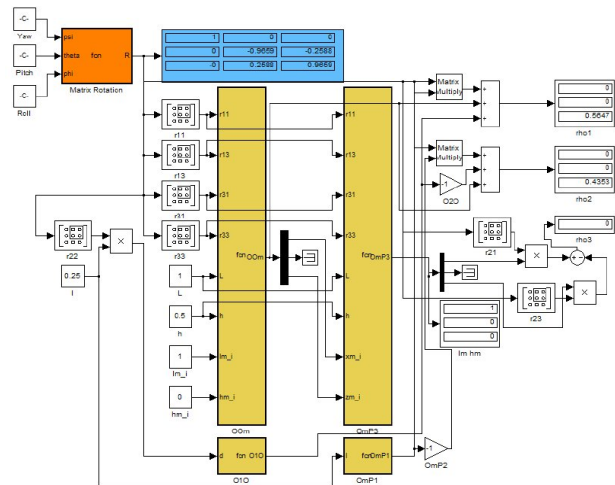
4. Model Numerik Platform

Berdasarkan konfigurasi platform yang telah dipilih, maka sebuah model simulasi numerik dibangun dengan bantuan perangkat lunak MATLAB/SIMMECHANICS [9]. Dengan perangkat lunak ini, maka *linkage* dan *joint* mekanik yang ada pada platform dapat direpresentasikan sebagai suatu jaringan blok diagram yang selanjutnya





Gambar 5. Diagram Blok Platform Mekanik

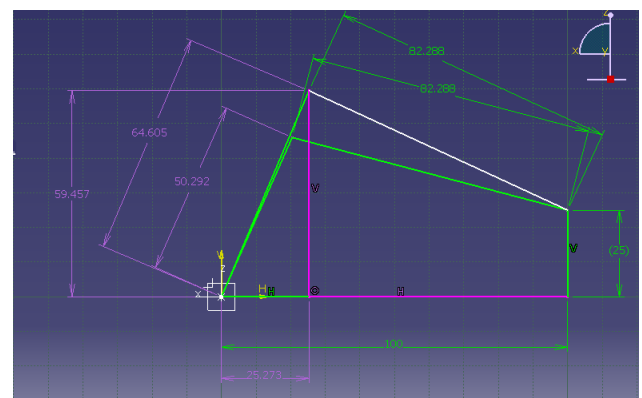


Gambar 6. Blok diagram Operator transformasi

dapat disimulasikan dan diamati responnya secara langsung dengan komputer. Blok diagram platform mekanik yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5. Selain itu, operator transformasi defleksi aktuator juga direalisasikan sebagai sebuah model blok diagram numerik dengan bantuan perangkat lunak SIMULINK [7],[8], sebagaimana terlihat pada Gambar 6.

5. Simulasi Numerik

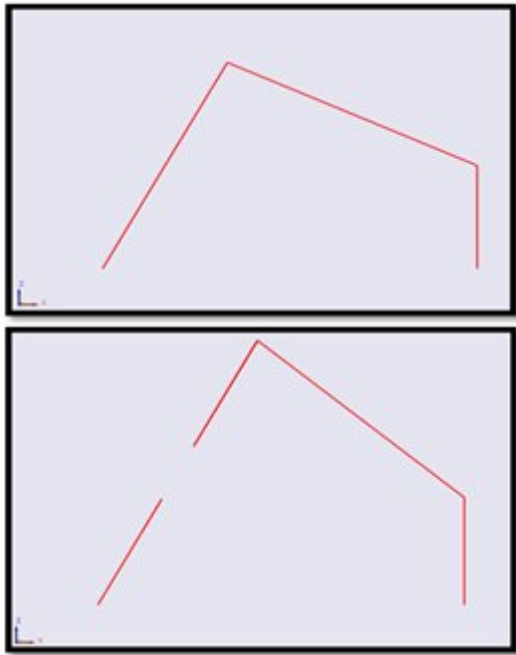
Dengan menggunakan model numerik yang telah dibangun, selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat respon gerak platform untuk beberapa gerak referensi berupa rotasi pada ketiga sumbu putar utama. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk suatu gerak rotasi tertentu, maka ketiga aktuator akan bergerak secara simultan untuk merekonstruksi gerak tersebut. Besarnya defleksi aktuator, selain bergantung pada besar sudut rotasi yang diinginkan, juga akan ditentukan oleh harga-harga parameter geometri platform, antara lain L , I_m , h , dan d (Gambar 3 dan 4).



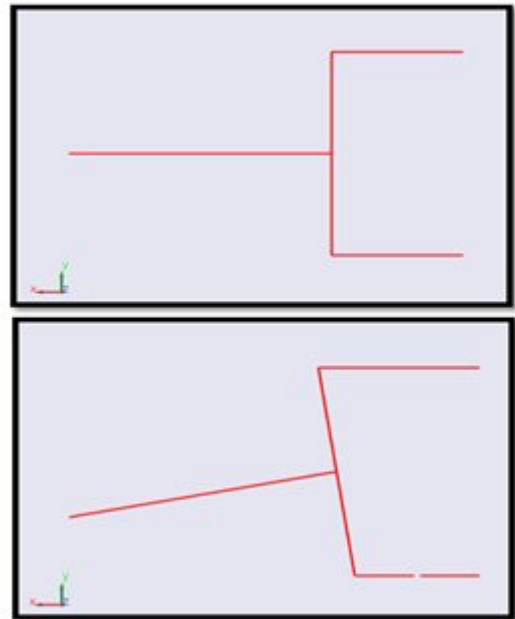
Gambar 7. Visualisasi respon platform mekanik untuk referensi sudut pitch $\theta = -10$ deg

Gambar di atas menunjukkan visualisasi statik respon platform terhadap suatu perintah referensi sudut pitch sebesar -10 derajat. Terlihat bahwa, dengan konfigurasi yang terlihat pada gambar, untuk merealisasikan secara fisik sudut sikap tersebut, kedua aktuator pada bagian depan platform bertambah panjang sekitar 14,6 cm, dengan acuan putaran positif mengikuti arah sumbu yang terdefinisi pada Gambar 4.

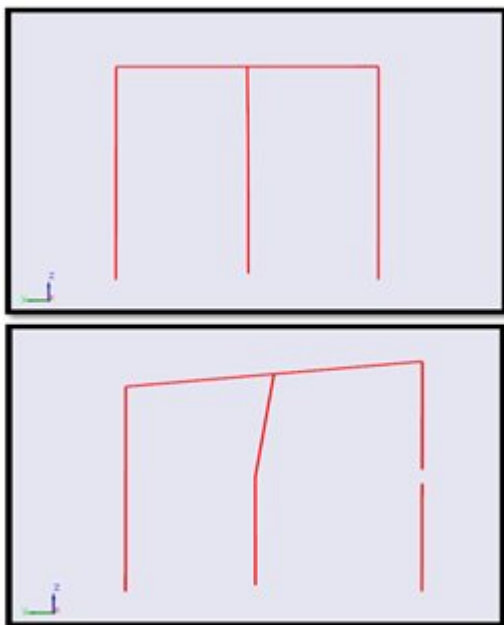
Visualisasi gerakan juga dapat diperoleh dari simulasi dengan perangkat lunak SIMMECHANICS, seperti yang terlihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 8. Gerak rotasi Pitch sebesar -10 derajat: aktuator depan memanjang secara simetris (tampak samping)



Gambar 10. Gerak rotasi yaw sebesar 10 derajat : aktuator depan berdefleksi asimetris, dan aktuator belakang berdefleksi horisontal (tampak atas)



Gambar 9. Gerak Rotasi Roll sebesar 10 derajat : aktuator depan berdefleksi asimetris, dan aktuator belakang berdefleksi horisontal (tampak depan)

Gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan kombinasi defleksi aktuator yang dibutuhkan untuk menghasilkan perubahan sikap dengan rotasi terpisah pada ketiga sumbu utama. Untuk gerakan yang berupa kombinasi ketiga putaran utama di atas, maka perintah defleksi ketiga aktuator akan menjadi lebih kompleks, karena terbentuk dari kombinasi ketiga putaran sudut utama dengan koefisien kombinasi yang bersifat nonlinier, sesuai dengan hubungan yang diperoleh pada bagian 3.2, terutama jika harga sudut yang diinputkan cukup besar.

6. Kesimpulan dan Saran

Komponen platform mekanik sebagai bagian dari sistem simulator sepeda motor sangat mempengaruhi kinerja simulator secara keseluruhan, karena itu karakteristik dinamik platform ini perlu dikaji dan dievaluasi secara komprehensif. Model numerik suatu platform mekanik dapat diperoleh dengan mengevaluasi konfigurasi platform yang akan digunakan. Model numerik ini selanjutnya dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis sifat dinamik platform mekanik melalui proses simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi platform yang digunakan pada penelitian ini dapat merekonstruksi gerak dinamik utama sepeda motor, sesuai dengan referensi gerak yang dihasilkan oleh perhitungan simulator numerik.

Pada pengembangan lebih lanjut, simulasi yang lebih intensif untuk mengevaluasi kinerja dan juga

keterbatasan konfigurasi platform yang digunakan perlu dilakukan. Tingkat kompatibilitas platform dengan simulator numerik yang telah dibangun sebelumnya [6] juga perlu dievaluasi. Komponen/mekanisme tambahan yang terkait dengan dinamika batang kemudi perlu ditambahkan untuk melengkapi dinamika yang merepresentasikan karakteristik suatu sepeda motor yang lengkap, selain juga sebagai sarana interaksi dengan pengguna simulator. Sistem visualisasi lingkungan juga dapat ditambahkan untuk menambah kesan yang lebih realistis bagi pengguna simulator melalui feedback visual.

Referensi

- [1] Cossalter Vittore, et.al, A Motorcycle Riding Simulator For The Improvement of The Rider Safety, Technical paper, Department of Innovation in Mechanics and Management– University of Padova, Italy, 2008
- [2] D. Ferrazzin, et.al, The MORIS Motorcycle Simulator: An Overview, Technical paper, PERCRO, Scuola Superiore S.Anna, Italy, 2001
- [3] L. Nehaoua, et.al., A New Motorcycle Simulator Platform: Mechatronics Design, Dynamics Modeling and Control, 17th IFAC World Congress, Seoul, Republic of South Korea, 2008
- [4] Salim Hima, et.al., TwoWheeled Vehicle Dynamics Synthesis for Real-Time Applications, 1st Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation (CISA 08), ANNABA, Algeria, 2008
- [5] Salim Hima, et.al., Motorcycle Dynamic Model Synthesis for Two Wheeled Driving Simulator, 10th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'07), Seattle, USA, 2007
- [6] Rianto Adhy Sasongko, et.al.,Pemodelan dan Simulasi Dinamik Untuk Pengembangan Simulator Sepeda Motor, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, Palembang, 13-15 Oktober 2010*
- [7] The mathworks, *Matlab User Guide*
- [8] The mathworks, *SIMULIKN User Guide*
- [9] The mathworks, *SIMMECHANICS User Guide*
- [10] Pengembangan Simulator Sepeda Motor : Laporan Perkembangan Penelitian Tengah Tahun, Tim Riset Simulator Sepeda Motor, FTMD ITB, Agustus 2010.



