

## **Kendali *Sliding Mode* Motor Sinkron Magnet Permanen Pada Simulator Masinis Kereta Api**

**Muhammad Imbarothur Mowaviq**

Institut Teknologi PLN  
mowaviq@itpln.ac.id

### **ABSTRACT**

*Train driver simulator is a training tool before driving a real locomotive. The train simulator is driven by four PMSMs which are used to drive the simulator in pitch, roll, transcendental and longitudinal motion. The controlling method used is Sliding Mode Control (SMC). SMC consists of two stages, the first stage serves to correct the error signal by directing the signal to the sliding surface and the second stage serves to maintain the signal on the sliding surface. From the simulation test results, it was found that SMC can be a solution as a control on the train driver simulator system. In the pitch motion simulation, there is a steady state error in each form of SMC. This is due to the non-linearity factor obtained by the motor. For further, this research needs to be tested on the train simulator hardware, so that it can be implemented on the system*

**Keywords:** *Sliding Mode Control, Train Driver Simulator, Permanent Magnet Synchronous Motor*

### **ABSTRAK**

*Simulator kereta api sendiri merupakan perangkat latihan masinis sebelum terjun mengendarai lokomotif yang sebenarnya. Simulator kereta api digerakkan oleh empat PMSM yang digunakan untuk menggerakkan simulator pada gerak pitch, roll, transedental, dan longitudinal. Adapun metode pengendali yang digunakan adalah Sliding Mode Control (SMC). SMC terdiri atas dua tahap, tahap pertama berfungsi memperbaiki sinyal kesalahan dengan mengarahkan sinyal tersebut pada sliding surface dan tahap kedua berfungsi untuk mempertahankan sinyal pada sliding surface tersebut. Dari hasil uji simulasi, didapatkan bahwa SMC dapat menjadi solusi sebagai kendali pada sistem simulator masinis kereta api. Pada simulasi gerak pitch, terdapat error steady state pada setiap bentuk SMC. Hal ini, disebabkan oleh faktor non linieritas yang didapatkan motor. Untuk selanjutnya penelitian ini perlu diujii pada perangkat keras simulator kereta api, sehingga dapat bagaimana implementasi SMC pada sistem*

**Kata kunci:** *Sliding Mode Control, Simulator Masinis, Motor Sinkron Magnet Permanen*

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan terbanyak transportasi massal jarak jauh yang paling banyak diminati di Indonesia adalah kereta api. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), disebutkan bahwa kereta api menjadi pilihan utama moda transportasi bagi masyarakat. Jumlah penggunanya, mencapai 30,9 juta orang selama Januari 2017. Jumlah tersebut tertinggi dibandingkan dengan pesawat dan kapal laut.

Kereta api sendiri meski memiliki jalur sendiri juga tidak lepas dari ancaman kecelakaan. Kecelakaan pada kereta api bisa disebabkan beberapa faktor, salah satunya adalah faktor keahlian masinis. Masinis yang handal menjadi keharusan yang dipenuhi agar terjaminnya keselamatan penumpang. Selain soal keselamatan penumpang, masinis yang handal juga dituntut agar bisa mengendarai kereta api tepat waktu di setiap stasiunnya. Oleh sebab itu, sebelum mengendarai kereta api, masinis haruslah melalui pelatihan dan dinyatakan mampu mengendarai kereta api.

Simulator kereta api sendiri merupakan perangkat latihan masinis sebelum terjun mengendarai lokomotif yang sebenarnya. Dalam penelitian LSKK ITB, simulator kereta api digerakkan oleh empat PMSM yang digunakan untuk menggerakkan simulator pada gerak *pitch*, *roll*, transedental, dan longitudinal. Satu motor untuk transedental, satu motor untuk longitudinal, dan dua motor untuk gerak *pitch* dan *yaw*.

Penggunaan PMSM dalam simulator kereta api pada dasarnya adalah sebagai aktuator dari sistem kendali posisi. Posisi pada dasarnya adalah integral dari kecepatan. Dalam pengendalian posisi, ketika posisi yang diinginkan telah tercapai, maka motor berhenti, atau kecepatan sama dengan nol [1], [2]. Hal ini berlaku jika posisi yang diinginkan bernilai konstan. Adapun dalam pengendalian posisi ada banyak metoda yang dapat digunakan.

Salah satu PMSM yang ada di industri adalah produksi dari delta dengan *driver* tipe ASDA-A2. *Driver* ini memiliki sistem kendali internal PI. Di dalamnya terdapat register yang dapat digunakan juga untuk kendali posisi. Tetapi di dalam ASDA-A2 hanya ada 63 register untuk mode posisi. Untuk itu perlu perangkat dari luar sebagai komputasi kontrol posisi. Untuk itu, digunakan Raspberry Pi 3 sebagai perangkat komputasi yang dihubungkan dengan *driver*. Adapun metode pengendali yang digunakan adalah *Sliding Mode Control* (SMC).

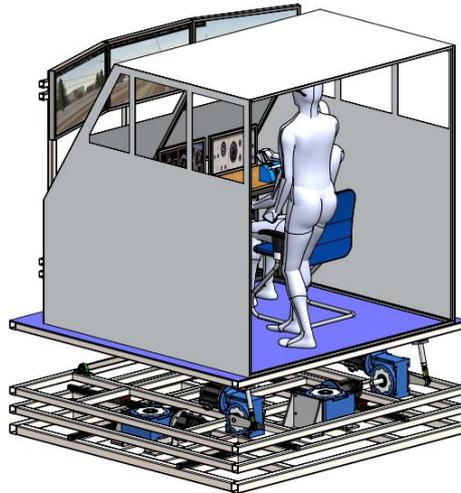
SMC merupakan *Variable Structure Control* (VSC) yang pertama kali diuraikan pada awal 1950 di Uni Soviet [3]. VSC sendiri dikembangkan menjadi metode desain umum untuk sistem yang luas, termasuk sistem nonlinier, sistem *Multi Input Multi Output* (MIMO), model waktu diskrit, hingga dimensi yang tak terbatas sistem. [4], [5]. Di lain pihak, *Sliding Mode Control* (SMC) merupakan metode kendali yang dapat menjamin kestabilan dan performa suatu sistem yang dikendalikannya dengan baik [6], [7]. SMC dapat bekerja dengan baik untuk mengendalikan baik sistem nonlinear maupun sistem linear [8]. Pada dasarnya, SMC bertujuan untuk mengarahkan trayektori *state* dari sistem yang akan dikendalikan menuju suatu permukaan yang ditentukan oleh perancangannya (*sliding surface*) dan mempertahankannya pada permukaan tersebut sehingga trayektori dari sistem akan sesuai seperti permukaan yang diharapkan [9].

SMC terdiri atas dua tahap, tahap pertama berfungsi memperbaiki sinyal kesalahan dengan mengarahkan sinyal tersebut pada *sliding surface* dan tahap kedua berfungsi untuk mempertahankan sinyal pada *sliding surface* tersebut [10]. Pada sistem kendali posisi ini, sistem merupakan sistem linier yang juga dapat dikendalikan menggunakan SMC.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Desain Simulator Kereta Api

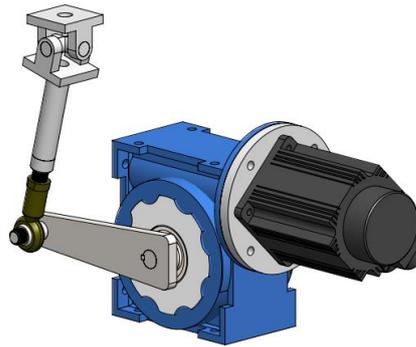
Purwarupa simulator kereta api merupakan simulator pelatihan masinis yang diteliti dan dikerjakan oleh Laboratorium Sistem Kendali dan Komputer (LSKK) STEI ITB. Purwarupa ini didesain agar masinis juga dapat merasakan perubahan momentum dan sudut kereta meskipun hanya dalam pelatihan. Purwarupa ini bergerak dalam empat gerakan, yaitu gerak longitudinal, transedental, *pitch*, dan *roll*. Adapun sketsa dari Purwarupa simulator kereta api dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Desain Simulator Kereta Api Tampak Samping (LSKK ITB, 2017)

Gerakan longitudinal dan transedental dilakukan pada dua layer terbawah, dimana masing-masing diberikan satu motor sebagai aktuator. Sementara gerak *pitch* dan *roll* dilakukan oleh dua motor yang bergerak bersama pada layer paling atas. Saat gerak *pitch*, dua motor bergerak pada arah yang sama, sementara pada gerak *roll*, kedua motor bergerak pada arah yang berlawanan. Besar perubahan posisi masing-masing pergerakan ditentukan sesuai kontur rel yang ada.

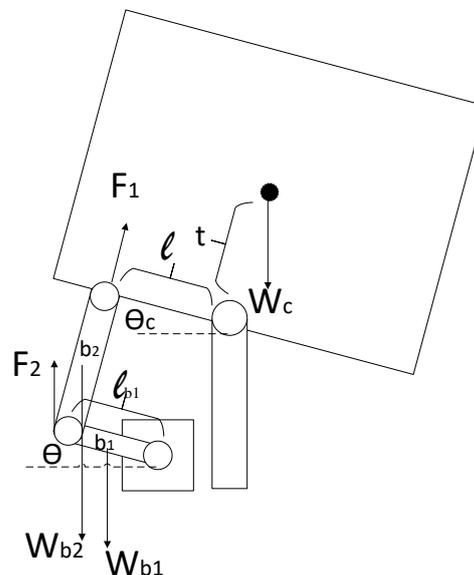
Pada setiap motor diberi *gear box* dengan perbandingan 60 kali. Di mana setiap 60 kali perputaran motor menghasilkan satu kali putaran. Pada gerak lateral dan longitudinal, gerakan dilakukan pada rel. Sementara pada gerak *pitch* dan *yaw*, gerak dilakukan dengan penambahan tuas yang menaik turunkan kabin. Gambar 2 menunjukkan motor untuk gerak *pitch* dan *yaw* beserta *gear box* dan tuasnya. Dalam penelitian ini, digunakan PMSM keluaran Delta Electronics tipe ECMA K11820SS dengan driver ASDA-A2-2043-M. Adapun tentang PMSM dan driver ASDA-A2 dijelaskan dalam bab ini.



**Gambar 2.** Motor, Gear Box, dan Tuas.

**2.2. Pemodelan pada gerak pitch**

Simulator kereta memiliki empat macam gerak yang berbeda, yaitu gerak *pitch*, *roll*, lateral, dan longitudinal. Pada gerak *pitch* atau mengangguk, simulator kereta api yang didesain oleh LSKK ITB secara mekanik dapat dilihat pada Gambar 3. Kabin sebagai beban yang digerakkan, di tengah-tengahnya terdapat *ball joint* sebagai sumbu putar gerak *pitch*. Sehingga, kabin dalam keadaan diam dan sejajar dengan tanah, berat kabin sepenuhnya bertumpu pada *ball joint*. Gerak *pitch* digerakkan dengan dua buah motor yang bergerak secara bersamaan. Motor tidak terhubung langsung dengan kabin, tetapi diberi dua buah batang tuas untuk menaik turunkan posisi kabin. Dalam melakukan pemodelan statika beban pada gerak *pitch* ini digunakan model matematis. Penurunan model matematis dilakukan dengan memerhatikan hukum-hukum fisika. Bisa kita perhatikan Gambar 3.



**Gambar 3.** Sketsa Penurunan Model Statika Beban pada Gerak *Pitch*

Dengan  $b_1$  sebagai batang satu,  $b_2$  sebagai batang satu,  $W_{B_1}$  gaya berat batang pertama,  $W_{B_2}$  gaya berat batang kedua,  $\theta$  total perpindahan sudut pada batang satu,  $\theta_c$  total perpindahan sudut pada kabin,  $\ell$  jarak pusat *ball joint* dengan batang kedua,  $\ell_{B_1}$  panjang batang pertama, dan  $t$  adalah jarak pusat massa kabin dengan ujung *ball joint*. Dari parameter-parameter tersebut kita bisa dapatkan fungsi perubahan torsi

terhadap sudut dengan menurunkan persamaan (1). Benda diasumsikan diam, sehingga kecepatan sudut( $\dot{\theta}$ ) = 0 dan percepatan sudut ( $\ddot{\theta}$ ) = 0, didapatkan

$$T_L = \sum F \cdot r \quad (1)$$

$T_L$  adalah torsi beban dalam newton meter. Atau dengan kata lain, torsi  $T_L$  adalah resultan gaya  $F$  dengan panjang  $r$ . Dengan  $F_2$  adalah gaya antara batang satu dan dua dan  $W_{B_1}$  sebagai gaya berat batang satu, maka bisa kita dapatkan

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \theta \ell_{B_1}}{2} - F_2 \cos \theta \ell_{B_1} \quad (2)$$

dengan  $F_2$  adalah gaya antara batang satu dan dua. Dengan mensubstitusikan

$$F_2 = F_1 \cos \theta_c - W_{B_2}, \quad (3)$$

maka kita bisa peroleh persamaan

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \theta \ell_{B_1}}{2} - (F_1 \cos \theta_c - W_{B_2}) \cos \theta \ell_{B_1} \quad (4)$$

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \theta \ell_{B_1}}{2} + W_{B_2} \cos \theta \ell_{B_1} - F_1 \cos \theta_c \cos \theta \ell_{B_1} \quad (5)$$

yang mana

$$W_c \sin \theta_c t - F_1 \ell = 0 \quad (6)$$

$$F_1 = \frac{W_c \sin \theta_c t}{\ell} \quad (7)$$

Jadi, kita peroleh persamaan torsi beban

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \theta \ell_{B_1}}{2} + W_{B_2} \cos \theta \ell_{B_1} - \left( \frac{W_c \sin \theta_c t}{\ell} \right) \cos \theta_c \cos \theta \ell_{B_1} \quad (8)$$

Dengan perbandingan sudut pada batang satu  $\theta$  dan pada kabin  $\theta_c$  diperoleh dengan memperhatikan Gambar 4. Sesuai desain mekaniknya, setiap perubahan jarak pada lintasan B yang dipengaruhi oleh perubahan sudut pada batang satu akan sama panjang dengan jarak pada lintasan A,  $A = B$ . Dengan  $A$  adalah jarak yang dihasilkan oleh perubahan sudut di batang satu dan  $B$  adalah jarak yang dihasilkan oleh perubahan sudut di kabin. Atau boleh dikatakan bahwa  $A$  adalah busur yang diakibatkan oleh  $\theta_c$  dan  $B$  adalah busur yang diakibatkan oleh  $\theta$ . Adapun perubahan  $A$  terhadap  $\theta_c$  dan perubahan  $B$  terhadap  $\theta$  masing-masing ditulis dalam persamaan (9) dan (10)

$$A = 2\pi \ell \frac{\theta_c}{360} \quad (9)$$

$$B = 2\pi \ell_{B_1} \frac{\theta}{360} \quad (10)$$

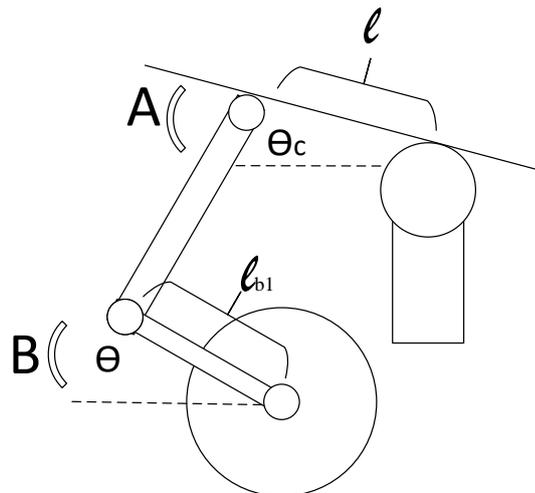
Sehingga bisa kita peroleh perbandingan antara sudut kabin dan sudut pada batang satu

$$2\pi \ell \frac{\theta_c}{360} = 2\pi \ell_{B_1} \frac{\theta}{360} \tag{11}$$

$$\theta_c = \frac{\ell_{B_1}}{\ell} \theta \text{ atau } \theta = \frac{\ell}{\ell_{B_1}} \theta_c \tag{12}$$

Dengan adanya perbandingan pada *gear box* maka kita peroleh perubahan sudut pada motor  $\theta = \frac{1}{60} \theta_m$ . Dari persamaan tersebut, kita dapat memperoleh  $T_L$  yang baru sebagai

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \theta \ell_{B_1}}{2} + W_{B_2} \cos \theta \ell_{B_1} - \left( \frac{W_c \sin \frac{\ell_{B_1}}{\ell} \theta t}{\ell} \right) \cos \frac{\ell_{B_1}}{\ell} \theta \cos \theta \ell_{B_1} \tag{13}$$



**Gambar 4.** Perbandingan Sudut Pada Batang dan Kabin

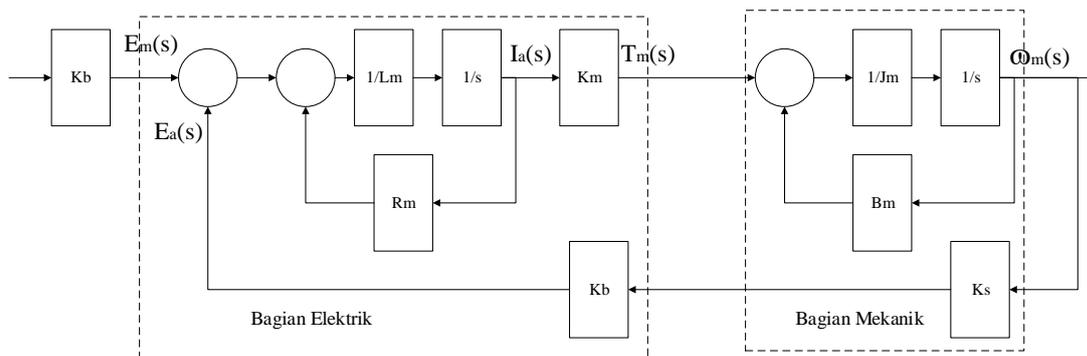
Dengan substitusi persamaan (12) dan (13), kita dapatkan

$$T_L = \frac{W_{B_1} \cos \left( \frac{1}{60} \theta_m \right) \ell_{B_1}}{2} + W_{B_2} \cos \left( \frac{1}{60} \theta_m \right) \ell_{B_1} - \left( \frac{W_c \sin \left( \frac{\ell_{B_1}}{\ell} \left( \frac{1}{60} \theta_m \right) \right) t}{\ell} \right) \cos \left( \frac{\ell_{B_1}}{\ell} \left( \frac{1}{60} \theta_m \right) \right) \cos \left( \frac{1}{60} \theta_m \right) \ell_{B_1} \tag{14}$$

Dengan persamaan (14), maka kita bisa memperoleh perubahan torsi beban sebagai fungsi dari sudut motor. Perubahan torsi beban inilah yang akan menjadi faktor non linieritas dari sistem.

**2.3. Pemodelan Motor dengan Beban Statik pada Gerak Pitch**

Berbeda dengan pemodelan motor pembahasan sebelumnya yang menggunakan *identification tool* MATLAB, pemodelan motor ini menggunakan model *white box* atau dengan menggunakan hukum-hukum fisika yang ada pada motor. Hal ini disebabkan karena ada faktor non linearitas yang mempengaruhi torsi motor. Perubahan torsi motor ini dipengaruhi oleh torsi beban yang berubah terhadap perubahan sudut motor. Adapun diagram blok dari sistem yang baru dapat dilihat pada Gambar 5.



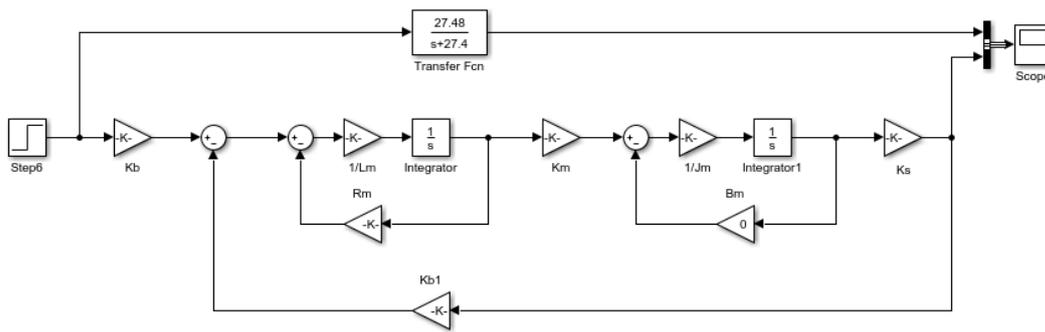
**Gambar 5.** Diagram Blok Sistem Motor Berbeban

Dengan diagram blok sistem seperti ini, kita bisa dapatkan model dengan mengetahui nilai parameter-parameter yang tersedia dalam *datasheet* motor. Adapun data sheet motor ditunjukkan Tabel 1 adalah sebagai berikut

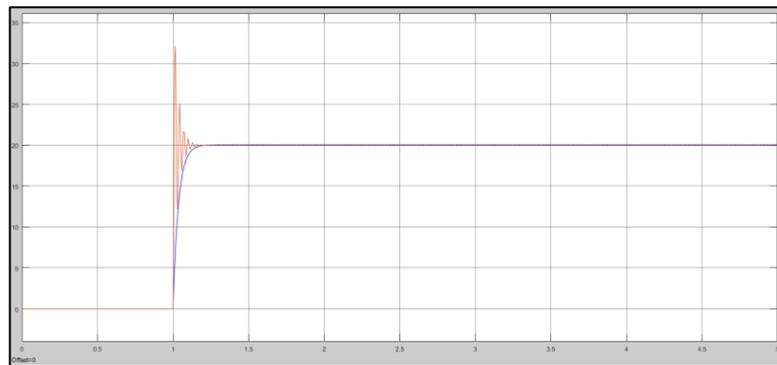
**Tabel 1.** Nilai Parameter Model Motor

Parameter	Keterangan Parameter	Nilai
$L_m$	Induktansi Armatur	23.3 mH
$K_b$	Konstanta EMF-balik	71.7 mV/(r/min)
$R_m$	Resistansi Armature	1.45 Ohm
$J_m$	Inersia motor	$11.9 \times 10^{-4} \text{ kg-m}^2$
$B_m$	Koefisien Gesekan	0
$K_m$	Konstanta Motor	1.95 N-m/A
$K_s$	Konstanta rad/s ke r/min	9,55 (r/min)/(rad/s)

Untuk menguji apakah pemodelan dengan cara ini bisa direpresentasikan sebagai model yang mewakili model menggunakan *identification tool* MATLAB, maka perlu kita validasi respon sistemnya. Validasi model hasil *identification tool* MATLAB dan model matematis dilakukan dengan Simulink yang strukturnya dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil dari validasi motor dapat dilihat pada Gambar 7. Di mana respon posisi antara hasil identifikasi menggunakan *identification tool* pada MATLAB dengan hasil model matematis motor memiliki kemiripan respon. Hal tersebut dapat dilihat bahwa respon antara kedua model saling berimpit.



**Gambar 6.** Struktur Validasi Model Motor dengan Hasil Identifikasi

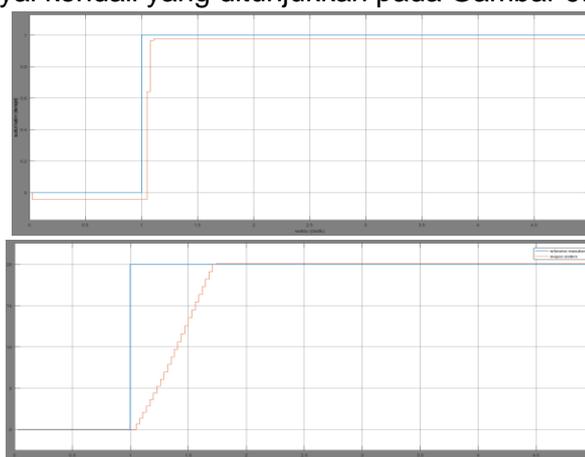


**Gambar 7.** Respon Posisi Hasil Validasi Model

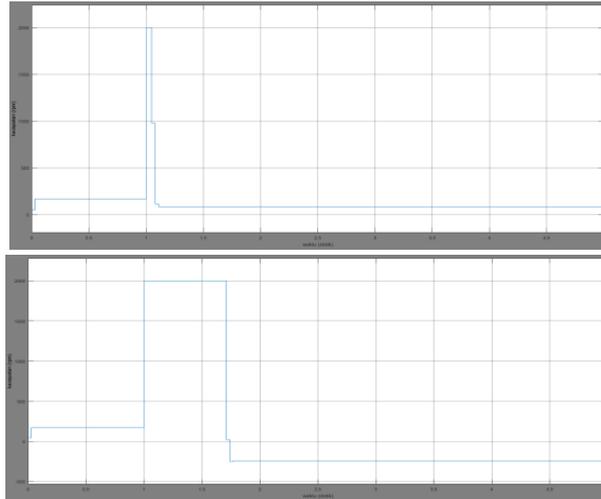
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. SMC dengan Umpan Balik Linier

Pada pengujian SMC dengan umpan balik linier dengan pembebanan ini, nilai parameter yang digunakan sama dengan pada [6], [7]. Didapatkan hasil simulasi seperti Gambar 8 dengan sinyal kendali yang ditunjukkan pada Gambar 9.

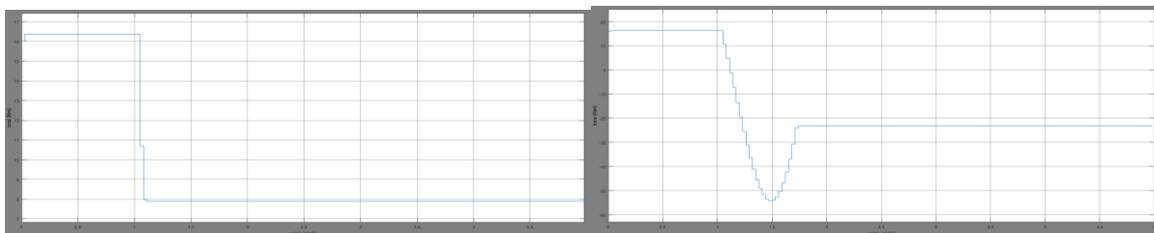


**Gambar 8.** Respon Step SMC Umpan Balik Linier pada Gerak *Pitch*



**Gambar 9.** Sinyal Kendali Respon Step SMC Umpan Balik Linier pada Gerak *Pitch*

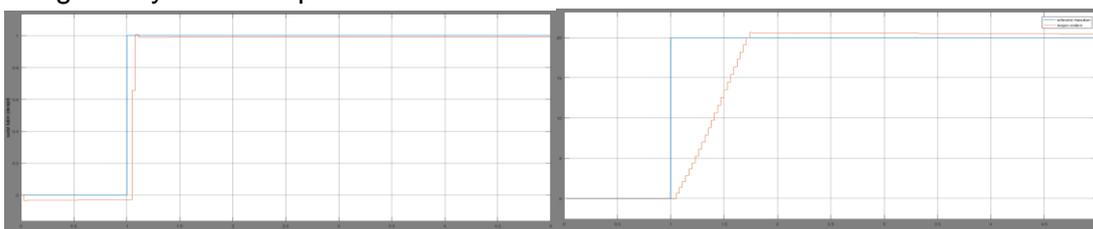
Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 8, terlihat *error steady state* 0.4%. terjadinya *error steady state* diakibatkan adanya faktor non linier yang diakibatkan oleh beban. Respon yang didapatkan memiliki *settling time* 0.1 detik pada masukan *step* 1° dan *settling time* 0.68 detik pada *step* 20°. Sementara, sinyal kendali SMC dengan umpan balik linier mengalami saturasi pada 2000 rpm. Untuk perubahan torsi akibat perubahan sudut dapat dilihat pada Gambar 10. Terlihat bahwa ketika terjadi perubahan sinyal kendali perubahan torsi berubah secara acak mengikuti fungsi torsi terhadap sudut. Ketika posisi sudut motor telah sesuai referensi maka torsi pun tidak berubah. Adapun ketika motor dalam kondisi stabil 17,5 detik torsi motor stabil pada angka -23 N.m.



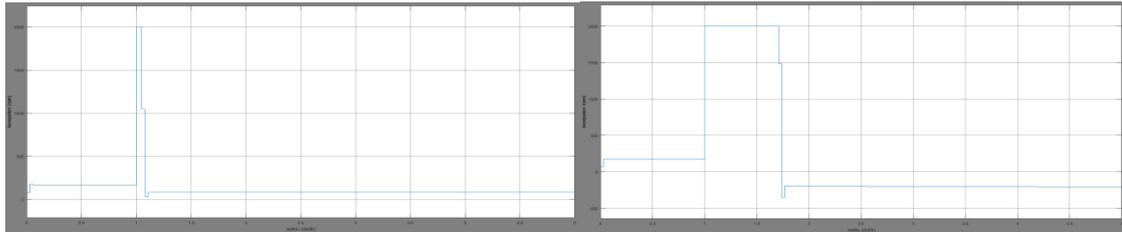
**Gambar 10.** Respon Torsi pada Sistem SMC dengan Umpan Balik Linier

### 3.2. Integral SMC dengan Umpan Balik Linier

Pada pengujian Integral SMC dengan umpan balik linier dengan pembebanan ini, nilai parameter yang digunakan sama dengan [6], [7]. Didapatkan hasil simulasi seperti Gambar 11 dengan sinyal kendali pada Gambar 12.

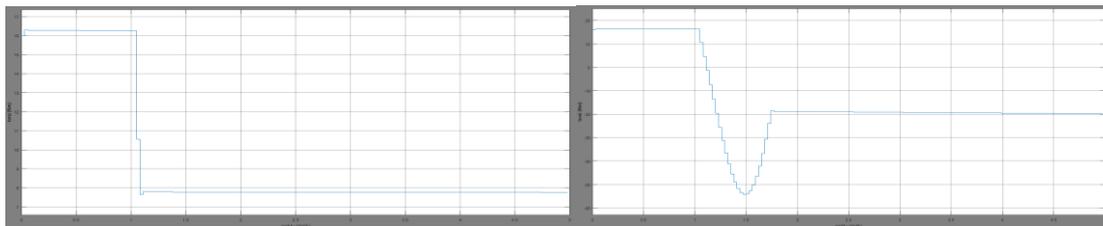


**Gambar 11.** Respon Step Integral SMC Umpan Balik Linier pada Gerak *Pitch*



**Gambar 12.** Sinyal Kendali Respon Step Integral SMC Umpan Balik Linier pada Gerak *Pitch*

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 11, terlihat *error steady state* 2.5%. terjadinya *error steady state* diakibatkan adanya faktor non linier yang diakibatkan oleh beban. Respon yang didapatkan memiliki memiliki *settling time* 0.1 detik pada masukan *step* 1° dan *settling time* 0.68 detik pada *step* 20°. Sementara, sinyal kendali SMC dengan umpan balik linier mengalami saturasi pada 2000 rpm. Salah satu penyebab respon yang lebih lambat dari pada simulasi motor tanpa beban adalah karena adanya saturasi pada sinyal kendalinya. Untuk perubahan torsi akibat perubahan sudut dapat dilihat pada Gambar 13. Terlihat bahwa ketika terjadi perubahan sinyal kendali perubahan torsi berubah secara acak mengikuti fungsi torsi terhadap sudut. Ketika posisi sudut motor telah sesuai referensi maka torsi pun tidak berubah. Adapun ketika motor dalam kondisi stabil 17.5 detik torsi motor stabil pada angka -19 N.m. Tabel perbandingan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 13.** Respon Torsi pada Sistem Integral SMC Umpan Balik Linier

**Tabel 2.** Perbandingan Simulasi SMC pada Motor dengan Beban Statik

Bentuk SMC	Step 1°		Step 20°	
	$t_s$ (s)	$e_{ss}$ (%)	$t_s$ (s)	$e_{ss}$ (%)
SMC dengan Umpan Balik Linier	0.1	2	0.68	0.4
Integral SMC dengan Umpan Balik Linier	0.1	1	0.68	2.5

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil uji simulasi, didapatkan bahwa SMC dapat menjadi solusi sebagai kendali pada sistem simulator masinis kereta api. Pada simulasi gerak *pitch*, terdapat *error steady state* pada setiap bentuk SMC. Hal ini, disebabkan oleh faktor non linieritas yang didapatkan motor. Untuk selanjutnya penelitian ini perlu diuji pada perangkat keras simulator kereta api, sehingga dapat bagaimana implementasi SMC pada sistem

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Sistem Kendali dan Komputer (LSKK) ITB yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] F. Li, Y. Wang, and R. Wang, "Simulation of speed-control system for PMSM based on sliding mode control," in Proceedings - 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer, MEC 2013, 2013, pp. 52–56.
- [2] X. Cunjian, W. Xiaocui, L. Shihua, and C. Xisong, "Improved integral sliding mode control methods for speed control of pmsm system," *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, vol. 7, no. 4, pp. 1971–1982, 2011.
- [3] M. Nishanthi and A. k Sunny, "Sliding Mode Control for the Stability Analysis of a Variable Speed Wind Turbine," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 33, no. 6, pp. 277–282, 2016.
- [4] R. A. Decarlo, S. H. Zak, and G. P. Matthews, "Variable Structure Control of Nonlinear Multivariate Systems: A Tutorial," *Proc. IEEE*, vol. 76, no. 3, pp. 212–232, 1988.
- [5] V. I. Utkin, "Sliding Mode Control Design Principles and Applications to Electric Drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 40, no. 1, pp. 23–36, 1993.
- [6] M. I. Mowaviq and A. S. Rohman, "Embedded position control of permanent magnet synchronous motor using sliding mode control," in 2018 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys), 2018, pp. 162–165.
- [7] M. I. Mowaviq, P. Tri Wahyu Oktaviana, A. Junaidi, and A. S. Rohman, "Integral sliding mode embedded controller of PMSM position control," in EECCIS 2020 - 2020 10th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls, and Informatics Seminar, 2020, pp. 111–116.
- [8] K. Tulis, S. Salah, and S. Syarat, "IMPLEMENTASI SLIDING MODE CONTROL DENGAN PENDEKATAN MODIFIKASI LMI DUA LANGKAH SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC MUHAMMAD RIKSA ANDANAWARI RASPATI SANTABUDI NIM : 23216115 ( Program Studi Magister Teknik Elektro ) INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG AGUSTUS ," vol. 23216115, 2017.
- [9] J.-J. E. Slotine and W. Li, *applied nonlinear control*. New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- [10] H. Septanto and A. S. Rohman, "Sliding mode control design of linear continuous feedback systems: Two-steps LMI approach," in International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009, 2009, no. 6.