

## DISAIN KONTROL SLIP MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN METODE PID ADAPTIF DAHLIN *INDIRECT*

### *SLIP CONTROL DESIGN ELECTRIC CARS USING INDIRECT DAHLIN ADAPTIVE PID*

Koko Friansa<sup>1</sup>, M. Ramdhan Kirom<sup>2</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

<sup>1</sup>[friansakoko@yahoo.co.id](mailto:friansakoko@yahoo.co.id), <sup>2</sup>[mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id](mailto:mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[rezafauzii@gmail.com](mailto:rezafauzii@gmail.com)

---

#### ABSTRAK

Pada jurnal ini masalah yang akan dipecahkan adalah membangun kontrol slip yang mungkin terjadi pada sebuah roda mobil listrik. Slip terjadi adanya perbedaan kecepatan kendaraan dan kecepatan tangensial roda yang semakin membesar bila torsi yang diberikan terus bertambah. Slip dapat dikurangi dengan cara mengontrol torsi roda sehingga kecepatan tangensial roda tidak melebihi kecepatan kendaraan. Pengujian pada jurnal ini menggunakan simulasi dengan MATLAB Simulink dan menggunakan kontrol PID adaptif. Respon yang dihasilkan kecepatan tangensial roda terkendali mendekati kecepatan kendaraan di permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan, es berturut-turut pada waktu 2s, 3s, 9s, dan 60s.

**Kata Kunci:** kontrol slip, kontrol adaptif, mobil listrik.

---

#### ABSTRACT

*In this paper the problem to be solved is to build a slip control on a wheel that may occur in an electric car wheel. Slip is the difference in vehicle speed and wheel tangential speed and to be enlarged when the torque given growing. Slip can be reduced by controlling the torque of the wheel so that the wheel tangential speed does not exceed the vehicle speed. The experiment in this paper with a simulation using MATLAB Simulink and using Adaptive control. The response adaptive PID control produce controlled wheel tangential speed close to the vehicle speed on a dry asphalt, wet asphalt, snow and ice surface sequent at time 2s, 3s, 9s, and 60s.*

**Key Words:** slip control, adaptive control, electric vehicle

---

#### 1. Pendahuluan

Beberapa metode pengontrolan untuk kontrol slip di berbagai jenis kendaraan cukup berkembang. Bermula dari *Anti-lock Braking System* (ABS) dan *Traction Control System* (TCS) merupakan sistem pengereman pada mobil agar tidak terjadi penguncian roda ketika terjadi pengereman mendadak. Begitu juga dengan kontrol slip *Model Following Control* (MFC) yang tidak membutuhkan informasi kecepatan tubuh kendaraan atau peralatan sensor percepatan.

Dejun Yin dan Hori [1] melakukan penelitian untuk mendapatkan suatu metode pengontrolan yang didasarkan pada torsi maksimum yang diizinkan agar slip dapat dibatasi tanpa memperhitungkan kecepatan kendaraan. Torsi maksimum ditentukan dengan mengabaikan adanya beberapa resistansi gerak, antara lain resistansi gerak roda dan hembusan udara yang dialami kendaraan.

Pada tugas akhir ini masalah yang akan dipecahkan adalah membangun kontrol slip dengan mengurangi nilai slip yang mungkin terjadi pada sebuah roda. Dengan membangun suatu sistem yang mempunyai kemampuan untuk mengatur diri atau memodifikasi diri sesuai dengan perubahan pada kondisi sekitar atau kemampuan adaptasi. Kemudian mengetahui respon dinamik mobil listrik dengan pengujian di berbagai jenis lintasan. Penelitian kali ini berupa simulasi dengan menggunakan MATLAB Simulink.

## 2. Mobil Listrik

Pada penelitian kali ini merupakan simulasi menggunakan MATLAB Simulink dari karakteristik mobil listrik penelitian Dejun Yin dan Hori [1]. Mobil listrik tersebut merupakan *Commercial electric vehicle* (COMS) dibuat oleh TOYOTA AUTO BODY Co. Ltd., Kendaraan tersebut sudah dimodifikasi sesuai dengan penelitian yang dibutuhkan. Roda belakang masing-masing dilengkapi dengan Interior Permanent Magnet Synchronous Motor (IPMSM) sehingga bisa dikontrol dengan bebas.



Gambar 1. Mobil listrik penelitian Dejun Yin & Hori [1]

Sedangkan karakteristik mobil listrik yang digunakan sebagai penelitian merujuk pada karakteristik mobil listrik penelitian Dejun Yin & Hori [1]. Lihat Tabel 1.

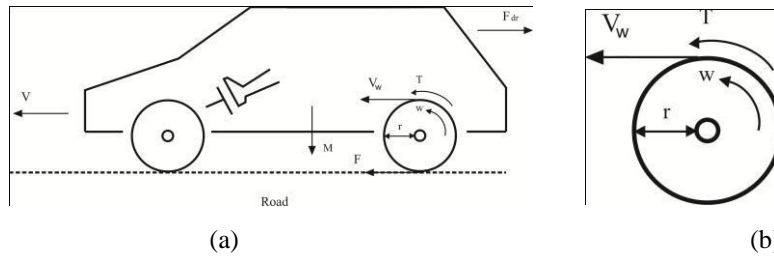
Tabel 1. Daftar simbol dan karakteristik mobil listrik penelitian Dejun Yin & Hori [1]

| Simbol   | Keterangan   |
|----------|--|
| $M$      | Massa total mobil listrik (kg) (360 kg)                                  |
|          | Momen Inersia roda penggerak ( $\text{kg m}^2$ ) ( $0.5 \text{ kgm}^2$ ) |
| $r$      | jari-jari roda (m) (0.2 m)   |
| $T$      | Torsi roda (Nm) (100 Nm)   |
|          | Gaya hambat kendaraan (N) (230 N)  |
| $F$      | Gaya melaju kendaraan (N)  |
|          | Slip ratio   |
|          | Kecepatan mobil (m/s)  |
|          | Kecepatan roda penggerak (m/s)   |
| $\omega$ | Kecepatan sudut roda (rad/s)   |
| $N$      | Gaya normal (N)  |
| $\mu$    | Koefisien gesekan  |

## 3. Disain Kontrol

### 3.1 Model Dinamik Kendaraan dan Roda.

Pendefinisian persamaan gerak kendaraan dapat diturunkan dari hukum Newton II. Pada gambar 2 menunjukkan besaran-besaran yang terlibat dalam gerak longitudinal mobil listrik.



Gambar 2. Model pergerakan (a) mobil listrik, (b) roda

Kesetimbangan gaya sepanjang sumbu longitudinal kendaraan dapat dinyatakan dalam persamaan 1 dan 2 berikut:

$$(1)$$

$$(2)$$

Untuk model pada sebuah roda ditunjukkan pada Gambar 3. Besaran gaya (F), Torsi (T) dan jari-jari (r). Persamaan gerak putar sebuah roda penggerak dinyatakan dengan persamaan 3 berikut:

$$(3)$$

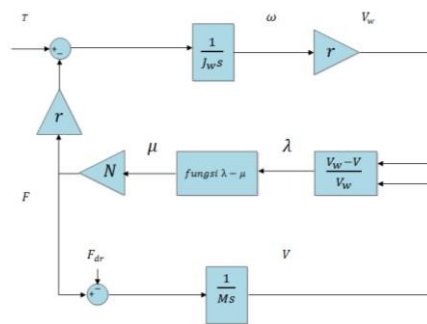
Persamaan (3) menjelaskan hubungan besaran gaya dengan Torsi. Kemudian hubungan kecepatan linear sebuah roda dengan kecepatan angular ( ) pada sebuah roda ditampilkan dalam persamaan berikut:

$$(4)$$

$$(5)$$

$$(6)$$

Hubungan antara slip ratio dengan koefisien gesek pada mobil listrik dapat dideskripsikan dengan sebuah model. Yaitu model satu roda dengan mewakili roda kanan dan roda kiri (Gambar 3).



Gambar 3. Model kendaraan satu roda dengan menyentuh permukaan lintasan

Slip ratio ( ) adalah persentase dari kecepatan roda penggerak (roda belakang) ( ) dengan kecepatan tubuh kendaraan ( ). Perhitungan nilai slip ratio ditampilkan ke persamaan (7) berikut:

$$(7)$$

Untuk besaran gaya total (F) dapat dicari dengan *Magic Formula* atau fungsi  $\lambda-\mu$ . Fungsi  $\lambda-\mu$  pada tugas akhir ini menggunakan *magic formula* atau *pacejka formula* ditemukan oleh Hans B. Pacejka berdasarkan data eksperimental [13]. *Magic formula* digunakan untuk menghitung *steady-state* pergerakan roda terhadap permukaan lintasan dengan mengubah slip ratio ( $\lambda$ ) menjadi nilai koefisien gesek ( $\mu$ ) [8].

$$[ \quad \{ \quad \} ] \tag{8}$$

Dengan: B, C, D, E:Konstanta pergerakan ban terhadap lintasan

: Slip Ratio

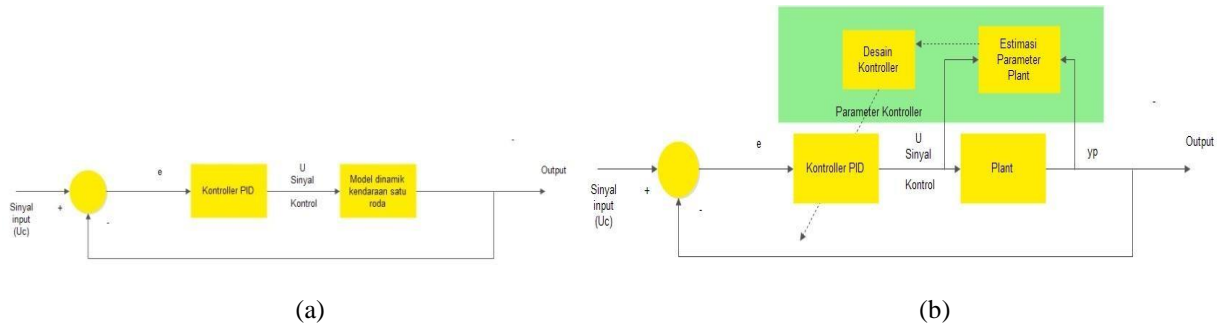
$\mu$ : Koefisien gesek pergerakan roda terhadap lintasan

Tabel 2. Karakteristik berbagai jenis lintasan pada *magic formula* [14]

| Koefisien | Nama             | Aspal Kering | Aspal Basah | Salju | Es  |
|-----------|------------------|--------------|-------------|-------|-----|
| B         | <i>Stiffnes</i>  | 10           | 12          | 5     | 4   |
| C         | <i>Shape</i>     | 1.9          | 2.3         | 2     | 2   |
| D         | <i>Peak</i>      | 1            | 0.82        | 0.3   | 0.1 |
| E         | <i>Curvature</i> | 0.97         | 1           | 1     | 1   |

### 3.2 Disain Kontrol Slip

Karaktristik dinamik sistem kontrol secara keseluruhan tidak sepenuhnya stabil dan kemungkinan mengalami perubahan seiring bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan beberapa kondisi, seperti kondisi mesin, kondisi lingkungan, dan kondisi penggunaan. Sistem yang mempunyai kemampuan untuk mengatur diri atau memodifikasi diri sesuai dengan perubahan pada kondisi sekitar disebut kemampuan adaptasi. Sistem kontrol yang mempunyai kemampuan beradaptasi disebut sistem kontrol adaptif [6]. Perancangan metode kontrol yang akan diajukan pada penelitian jurnal ini adalah metode PID dan PID Adaptif. Diagram blok PID ditampilkan pada Gambar 4(a), sedangkan PID Adaptif ditampilkan dalam Gambar 4(b).



Gambar 4. Diagram blok (a) PID, (b) PID adaptif

Perancangan kontrol PID dilakukan dengan menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  dengan metode Ziegler- Nichols tipe pertama. Didapatkan  $K_p = 198.8$ ,  $K_i = 82.3$ ,  $K_d = 0.3$ .

Pada kontrol PID adaptif dilakukan dengan penambahan blok Adaptif. Blok adaptif terdiri dari blok Estimasi Parameter Plant dan blok Disain Kontroler. Blok Estimasi Parameter *Plant* pada jurnal ini menggunakan *System Identification* ARMAX, untuk memberikan parameter-parameter yang dibutuhkan di Blok Disain Kontroler. Pada

Parameter Kontroller berfungsi untuk meng-adjust blok Kontroller PID. Pada Disain Kontroller, metode yang digunakan yaitu kontrol PID Dahlin. Persamaan kontrol PID Dahlin dapat dilihat pada persamaan 9.

$$\dots \dots \dots (9)$$

Variabel  $Q$  didapatkan pada persamaan 10.

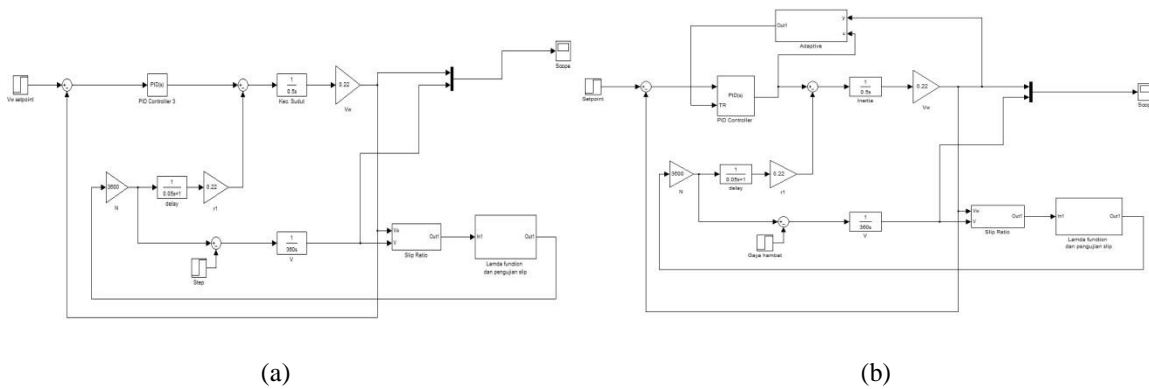
$$\dots \dots \dots (10)$$

Dimana  $B$  adalah faktor dari *process output* pada kontrol *loop* tertutup [12]. Sedangkan  $T_0$  adalah *settling time* dari *process output* pada *loop* tertutup sebelum menggunakan jenis kontrol.  $B$  dan  $T_0$  pada penelitian ini berturut-turut sebesar 400 dan 17.

Parameter  $\dots$ ,  $\dots$ , dan  $\dots$  secara otomatis didapatkan pada blok ARMAX. Sehingga didapatkan nilai:

- $\dots = -0,9874;$
- $\dots = 1;$
- $\dots = 0,006;$

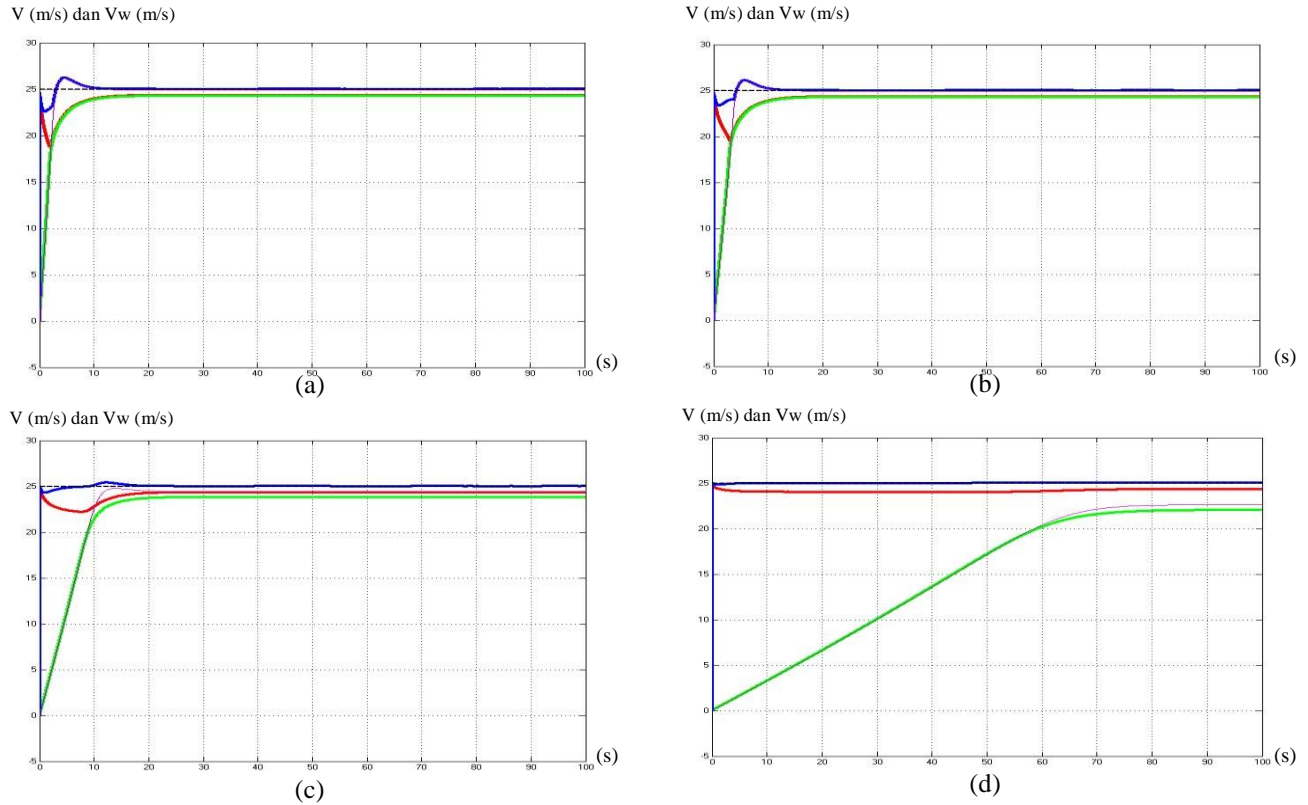
Parameter-parameter tersebut dimasukkan secara manual (*offline*) ke blok Disain Kontroller Dahlin. Langkah selanjutnya membuat blok diagram MATLAB Simulink dengan kontrol PID (Gambar 5(a)) dan PID adaptif (Gambar 5(b)). Pengujian dilakukan dengan empat jenis permukaan lintasan, yaitu permukaan aspal kering, aspal basah, salju, dan es.



Gambar 5. Blok diagram Simulink model dinamik kendaraan satu roda menggunakan (a) PID, (b) PID adaptif

#### 4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Tahap berikutnya adalah pengujian model dinamik kendaraan secara keseluruhan dengan membaca sinyal  $V$  (kecepatan kendaraan) dan sinyal  $V_w$  (kecepatan roda). *Setpoint* yang digunakan merupakan kecepatan roda ( $V_w$ ) dengan menggunakan sinyal *step* sebesar 25 m/s. Hasil pengujian PID dan PID adaptif pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es ditampilkan pada Gambar 6. Sedangkan pengujian *slip ratio* pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Pengujian PID dan PID adaptif dengan *input step* pada permukaan (a) aspal kering (b) aspal basah (c) salju (d) es

Kecepatan tangensial roda (Vw) PID adaptif ; —      Kecepatan kendaraan (V) PID adaptif ; —  
 Kecepatan tangensial roda (Vw) PID ; —      Kecepatan kendaraan (V) PID ; —  
*Setpoint* ; - - -

Pada Gambar 6 menunjukkan respon dinamik kecepatan kendaraan kontrol PID dengan input konstan (*step*) mengalami *settling time* pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es berturut-turut pada waktu 10 s, 12 s, 20 s, dan 80 s. Pengujian pada permukaan aspal kering dan aspal basah dilakukan selama 100s. Percepatan maksimum kendaraan (V) pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju, dan es adalah  $8.9 \text{ m/s}^2$ ,  $6.2 \text{ m/s}^2$ ,  $2.75 \text{ m/s}^2$ , dan  $0.34 \text{ m/s}^2$ .

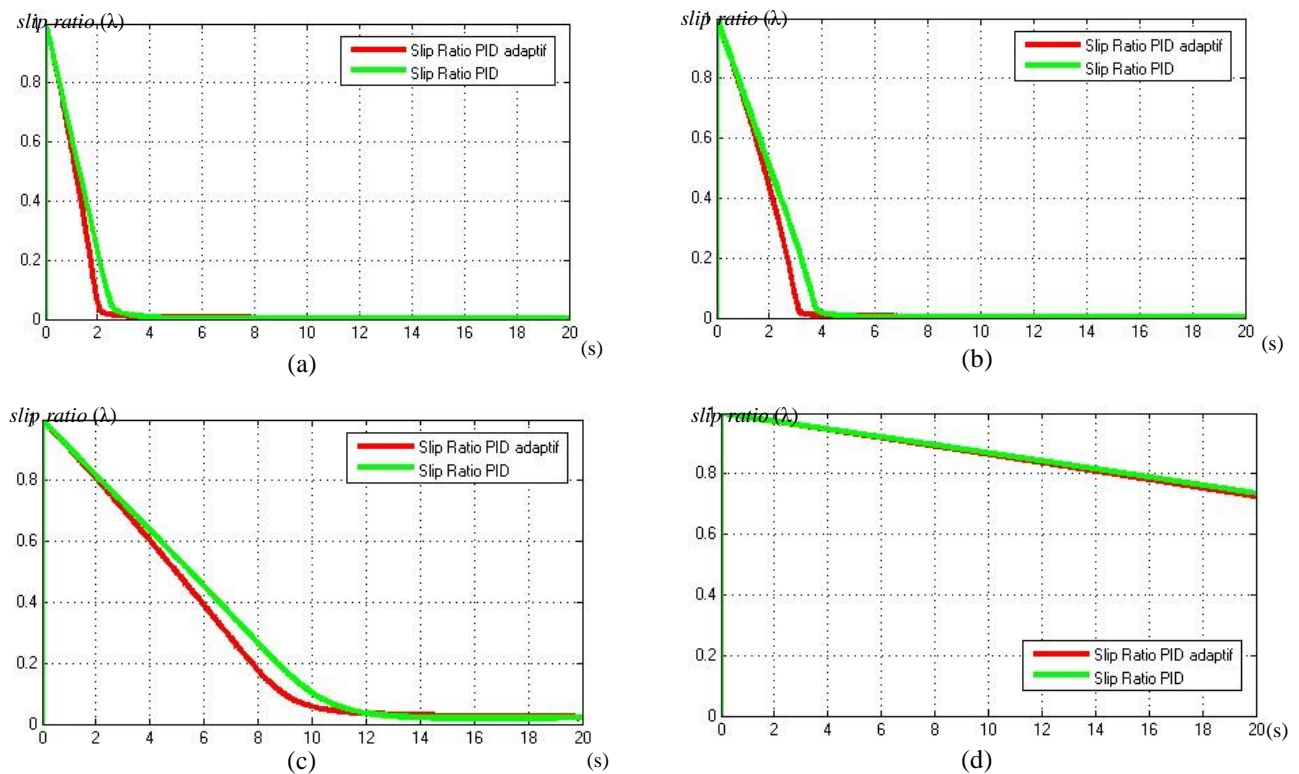
Pada permukaan aspal kering (Gambar 6 (a)) dengan rentang waktu 0-5 s, kecepatan tangensial roda (Vw) PID adaptif mengalami pengurangan (reduksi) sebesar 9 m/s dari *setpoint* dan menuju nilai kecepatan kendaraan (V). Sedangkan Pada permukaan aspal basah (Gambar 6 (b)) dengan rentang waktu 0-5 s, kecepatan tangensial roda (Vw) PID adaptif mengalami reduksi kecepatan sebesar 6 m/s dari *setpoint* dan menuju nilai kecepatan kendaraan (V). Hal ini menunjukkan adanya proses adaptasi dari kontrol PID adaptif. Respon dinamik pada kontrol PID adaptif tidak memiliki *overshoot*. Pada permukaan aspal kering mengalami *settling time* pada waktu 10 s dan pada permukaan aspal basah mengalami *settling time* 12 s.

Pada permukaan salju (Gambar 6 (c)) mengalami mengalami reduksi kecepatan sebesar 2.5 m/s dari *setpoint*. Sedangkan reduksi kecepatan tangensial roda (Vw) PID adaptif pada es (Gambar 6 (d)) cukup kecil sebesar

1 m/s. Hal ini disebabkan karena *setpoint* yang besar (25 m/s). *Settling time* kecepatan kendaraan (V) yang lambat untuk permukaan es dan salju (*settling time* salju = 20 s dan *settling time* es = 80 s). Ini membuktikan pada kontrol PID adaptif, nilai *settling time* kecepatan kendaraan (V) berbanding terbalik dengan reduksi kecepatan tangensial roda (Vw). Semakin besar *settling time* kecepatan kendaraan semakin kecil reduksi kecepatan tangensial roda.

Percepatan kendaraan pada permukaan salju dan es mengalami percepatan yang lebih kecil dari percepatan aspal kering. Begitu juga dengan kecepatan kendaraan (V) tidak mencapai penuh dengan *setpoint* kecepatan tangensial roda (Vw). Hal ini menunjukkan adanya *slip*, karena tidak sepenuhnya kecepatan tangensial roda (Vw) diubah menjadi kecepatan kendaraan (V). Mengingat akibat dari gaya gesek pada permukaan es sangat kecil mendekati nilai nol.

Pengukuran *slip ratio*,  $\lambda(t)$  dilakukan selama 20 s di empat permukaan yaitu permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es. Rentang *slip ratio* ( $\lambda$ ) menunjukkan angka 0 sampai dengan angka 1. *Slip ratio* ( $\lambda$ ) = 0 menunjukkan kecepatan tangensial roda (Vw) sama dengan kecepatan kendaraan (V). Sedangkan *slip ratio* ( $\lambda$ ) = 1 menunjukkan kecepatan kendaraan (V) = 0 m/s atau diam, namun kecepatan tangensial roda (Vw)  $\neq 0$  atau bergerak.



Gambar 7. Pengujian *slip ratio* pada permukaan (a) aspal kering (b) aspal basah (c) salju (d) es

Jika diperhatikan pada Gambar 7, nilai *slip ratio* ( $\lambda$ ) dengan *input step* pada waktu 0 s menunjukkan nilai *slip ratio* ( $\lambda$ ) = 1. Hal ini menunjukkan kecepatan tangensial roda (Vw) yang langsung merespon mencapai nilai *setpoint* dengan *input step*. Tetapi pada selang waktu berikutnya, nilai *slip ratio* ( $\lambda$ ) mendekati nilai 0. Namun, perilaku kontrol PID adaptif lebih cepat merespon dengan *slip ratio* ( $\lambda$ ) menuju nilai 0 dibandingkan dengan kontrol PID. Sehingga peran adaptasi (PID adaptif) berfungsi pada kontrol slip. Dengan contoh, pada pengujian aspal kering (Gambar 7 (a)) di waktu 2 s, *slip ratio* ( $\lambda$ ) pada kontrol PID menunjukkan angka 0.01. Sedangkan *slip ratio* ( $\lambda$ ) pada kontrol PID adaptif menunjukkan angka 0.02. Sehingga terjadi pengurangan (reduksi) *slip ratio* ( $\lambda$ ) pada permukaan aspal kering sebesar 0.08. Sedangkan pada aspal basah, salju dan es berturut-turut sebesar 0.06, 0.01, dan 0.005.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Respon dinamik kecepatan kendaraan kontrol PID dan PID adaptif dengan *input step* 25 m/s mengalami kecepatan konstan (*settling time*) pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es berturut-turut pada waktu 10 s, 12 s, 20 s, dan 80 s.
2. Hasil uji coba membuktikan percepatan maksimum kendaraan pada permukaan aspal kering, aspal basah, salju, dan es adalah 8.9 m/s<sup>2</sup>, 6.2 m/s<sup>2</sup>, 2.75 m/s<sup>2</sup>, dan 0.34 m/s<sup>2</sup>.
3. Kontrol PID berfungsi mengurangi nilai *error*. Namun, kontrol PID adaptif berfungsi mengurangi nilai slip. *Slip ratio* ( $\lambda$ ) menuju nilai 0 dengan kontrol PID adaptif di permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es berturut-turut pada waktu 2 s, 3 s, 9 s, dan 60 s.
4. Dibandingkan dengan kontrol PID, kontrol PID adaptif terdapat pengurangan (reduksi) kecepatan tangensial roda ( $V_w$ ) dengan *setpoint* 100 m/s di permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es berturut-turut sebesar 9 m/s, 6 m/s, 2.5 m/s, dan 1 m/s. Dan juga terdapat pengurangan (reduksi) *slip ratio* ( $\lambda$ ) di permukaan aspal kering, aspal basah, salju dan es berturut-turut sebesar 0.08, 0.06, 0.01, dan 0.005.

## Daftar Pustaka:

- [1] Yin, Dejun. Yoichi Hori. 2009. *A Novel Traction Control without Chassis Velocity for Electric Vehicles*. Norway, EVS24, Online Jurnal.
- [2] Hori, Yoichi. dkk. *Traction Control of Electric Vehicle*. Tokyo, University of Tokyo, Online Jurnal.
- [3] Shang, Chia. Huei Peng. 1996. *Road Friction Coefficient Estimation For Vehicle Path Prediction*, Vol.25 Suppl.
- [4] Pratikto. dkk. 2010, *Pengembangan Sistem Kontrol Traksi Mobil Elektrik Berbasis Rekonstruksi Keadaan Kecepatan Model Roda*, Bandung, Institute Teknologi Bandung, Online Jurnal.
- [5] *Indonesia's Oil Production and Consumption 1992-2005*, [Internet, WWW]. Address <http://www.eia.gov>
- [6] Andrada, P. dkk. *Power Losses in Outside-Spin Brushless D.C. Motors*, Spanyol, Universitat Politècnica de Catalunya, Online Jurnal.
- [7] Saifizi, M. dkk. 2013, *Comparison Of ARX and ARMAX Model For Thermoelectric Refrigerator*, Malaysia, ICMER2013, Online Jurnal.
- [8] Burhaumudin, M Safwan. dkk, 2012, *Modeling and Validation of Magic Formula Tire Road*, Malaysia, ICAMME, Online Jurnal.
- [9] Brown, Ward. 2002, *Brushless DC Motor Control Made Easy*, Microchip Technology Inc.
- [10] Irsyadi, Fakhri. dkk. 2011, *Perancangan dan Implementasi Manajemen Kecepatan Mobil Listrik Berbasis Energi dan Target Jarak Tempuh*, Bandung, Institut Teknologi Telkom, Tugas Akhir.
- [11] Handri, Bima. dkk. 2011, *Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol Kecepatan Pada Mobil Listrik dengan Penggerak Motor Brushless*, Bandung, Institut Teknologi Telkom, Tugas Akhir.
- [12] Bobal, V. dkk. 2005, *Digital Self-tuning Controllers*, Czech Republic, University of Pardubice, Penerbit Springer.
- [13] Erdogan, Gurkan. 2009, *Tire Modeling Lateral and Longitudinal Tire Forces*.
- [14] *Pacejka '94 Parameter Explained – A Comprehensive Guide*, [Internet, WWW]. Address <http://www.edy.es/dev/>