

## Analisa Respon Antilock Braking System (ABS) dan Energi yang Dibutuhkan Selama Proses Pengereman pada Jalan Menurun

**Mochamad Edoward R.<sup>1</sup>, Harus Laksana Guntur<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mahasiwa Program Magister, Jurusan Teknik Mesin-ITS

<sup>2</sup> Lab. Sistem Dinamis dan Vibrasi, Jurusan Teknik Mesin-ITS

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)-Surabaya

Jl. Arif Rahman Hakim, Kampus ITS Keputih, Sukolilo-Surabaya (60111)

Jawa Timur, Indonesia

Phone: +62-85649872972, E-mail: edowarditsdesain@gmail.com

### Abstrak

Proses pengereman pada jalan menurun membutuhkan energi yang lebih besar karena adanya pengaruh kerja oleh gaya berat kendaraan akibat sudut kemiringan. Paper ini melaporkan hasil pemodelan dan simulasi respon ABS dan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman pada lintasan jalan lurus-menurun. Kendaraan dengan ABS dimodelkan secara matematis sehingga didapatkan persamaan dinamika dari sistem. Dengan transformasi Laplace didapatkan transfer function dari kendaraan dengan ABS. Dan dengan bantuan *software* SIMULINK MATLAB didapatkan respon kecepatan kendaraan, kecepatan roda, slip roda, jarak pengereman, dan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman. Pada studi ini digunakan lintasan jalan menurun dengan variasi sudut  $\theta$  sebesar  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ . Dengan asumsi kecepatan mula kendaraan sebesar 40km/jam, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi menunjukkan jarak pemberhentian adalah 31.08m, 32.96m, 34.77m dengan waktu berhenti selama 5.169s, 5.325s, 5.464s secara berurutan sesuai urutan variasi sudut. Sedangkan daya maksimum yang dibutuhkan selama proses pengereman adalah 1.88kW, 3.71kW, 5.44kW. Hasil perhitungan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman ini bisa dijadikan acuan dalam perencanaan sistem rem regeneratif, yaitu pemanfaatan energi yang terbuang selama proses pengereman, khususnya pada kondisi jalan menurun.

**Keywords:** Energi Pengereman, Regenerative Braking System (RBS), Antilock Braking System (ABS), Pemodelan, Simulasi

### 1. Pendahuluan

Antilock braking sistem (ABS) merupakan sebuah sistem pengereman yang menghentikan kendaraan dengan mempertahankan keadaan roda tidak terkunci sehingga kendaraan tetap dapat dikendalikan dengan mudah. Sistem ini bekerja pada sebagian besar jenis permukaan jalan dan mengurangi resiko kecelakaan. Beberapa penelitian telah menunjukkan, bahwa sistem rem anti penguncian dapat menurunkan kemungkinan kecelakaan kendaraan sebesar 18%. Seperti kita ketahui, sistem rem ABS adalah keunggulan mobil masa kini, padahal rem ini bukan temuan baru. Dunlop-Maxaret dari Inggris sudah pernah mencobanya pada tahun 1954 untuk traktor. Namun baru awal 1970-an, BMW dan Mercedes Benz yang bekerja sama dengan BOSCH, mulai mengembangkannya.

Saat ini pengembangan dari sistem rem ABS sudah berada pada pengaturan berupa sinyal dari sensor kecepatan angular roda yang diteruskan ke modul yang digunakan untuk mengatur kecepatan pompa menggerakkan katup-katup yang bekerja memotong tekanan konstan dari master silinder ke master kaliper. Berikut ini ulasan beberapa penelitian terdahulu di mulai dari MA Mingxing dkk(2011) meneliti tentang simulasi tekanan pada ABS hidrolis dengan membandingkan pengereman normal, *on off* dan

metode *step*. Rishabh dkk(2011) melakukan penelitian dengan pemodelan pengereman ABS berdasarkan sebuah kondisi permukaan kontak antara roda ban dan jalan dengan memprediksi permukaan kontak terlebih dahulu. Otis T. Nyandoro dkk(2011) meneliti tentang pemodelan perumusan linier slip kontrol pada kendaraan yang menggunakan ABS dengan pengaruh gerak suspensi, pemodelan seperempat kendaraan dengan obyek kajian kecepatan kendaraan, torsi pengereman, slip roda dan jarak pengereman. Wenjuan Li dkk(2008) membuat modeling dan simulasi sistem pengereman dengan dasar konfersi energi kinetik dengan menentukan parameter kondisi kecepatan dan menghasilkan jarak pengereman. Jinggang Gou dkk(2009) dalam pemodelannya mempelajari distribusi pengereman pada kendaraan elektrik dengan obyek kajian torsi pengereman dan tenaga pengereman.

Valentinas dkk(2011) melakukan penelitian tentang pengujian pengereman ABS pada 5 jenis mobil opel dengan obyek kajian berupa kecepatan kendaraan, jarak pengereman, waktu pengereman dan perlambatan kendaraan. Valdas Valiunas dkk (2004) meneliti efek dari ABS dan non ABS pada 2 jenis mobil terhadap jarak pengereman kendaraan dengan obyek penelitian berupa kecepatan kendaraan, berat kendaraan dan jarak pengereman.

Paper ini melaporkan hasil pemodelan dan simulasi respon ABS dan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman pada lintasan jalan lurus-menurun dengan sudut turunan  $\theta = 10^0, 20^0, 30^0$  dengan asumsi kecepatan awal kendaraan 40 km/jam dan kondisi lintasan jalan beraspal kering. Pemodelan dan simulasi ini bertujuan untuk mengetahui respon dari kendaraan berupa kecepatan angular kendaraan, kecepatan roda, slip roda, jarak pengereman, torsi pengereman, daya pengereman dan energi dari pengereman kendaraan dengan asumsi kecepatan mula sebesar 40 km/jam, massa kendaraan 1800kg, diameter roda sebesar 0.295m melalui lintasan jalan menurun dengan variasi sudut  $10^0, 20^0, 30^0$ . Kemudian hasil simulasi dari jarak pemberhentian kendaraan dibandingkan dengan beberapa hasil penelitian terdahulu.

**2. Metode Penelitian**

Langkah dari pemodelan simulasi yang pertama ialah memodelkan matematis dari pengereman kendaraan, kemudian mencari model variabel keadaan dan membuat blok diagram simulasi di MATLAB SIMULINK dengan memasukan parameter-parameter yang dibutuhkan sehingga didapatkan respon dari kendaraan berupa kecepatan angular kendaraan, kecepatan roda, slip roda, jarak pengereman, torsi pengereman, daya dan energi pengereman terhadap waktu pengereman.

**2.1 Pemodelan Dinamika ABS Pada Jalan Menurun**

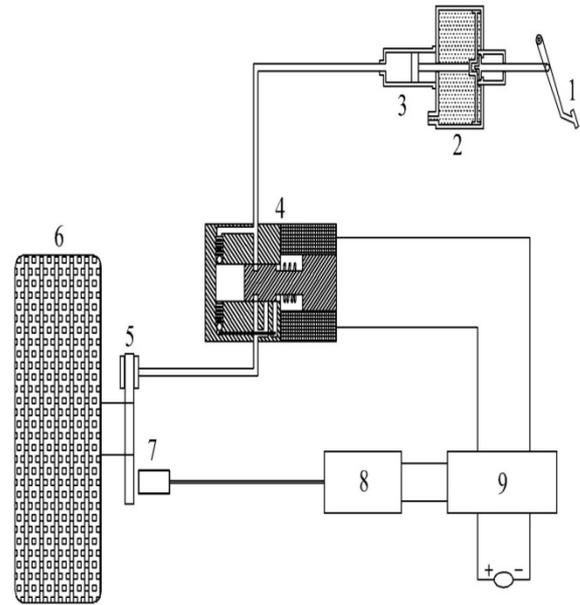
Untuk mencari respon maka dibutuhkan beberapa langkah dari pemodelan dinamika ABS berupa memodelkan matematik dari pengereman kendaraan, membuat model variabel keadaan dan kemudian membuat blok diagram simulasi. Setelah blok diagram selesai, langkah terakhir ialah memasukan beberapa parameter yang berhubungan dengan kerja rem ABS. Apabila sebuah kendaraan melaju dengan sebuah kecepatan konstan kemudian melalui lintasan menurun sepanjang  $s$  ( m) maka kendaraan akan mengalami percepatan sebesar :

$$a = \sin \theta \times g \dots \dots \dots (1)$$

sehingga  $V_a = V_0 + \sin \theta \times g \times t \dots \dots \dots (2)$

Jika kendaraan melalui jalan menurun dengan pemvariasian sudut  $\theta$  sebesar  $10^0, 20^0, 30^0$  maka percepatan tergantung dengan nilai  $\sin \theta$ . Dalam perancangan ABS jarak pemberhentian sangatlah penting untuk menentukan seberapa besar kemampuan pengereman bekerja.

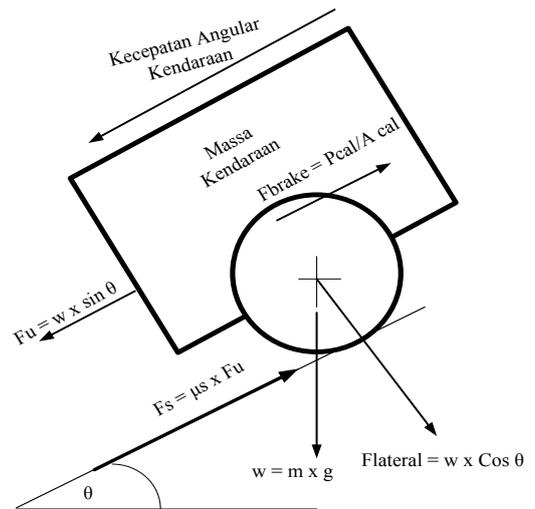
$$s = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot (\mu \cdot m \cdot g + F_{brake})} \dots \dots \dots (3)$$



Keterangan :

- 1. Pedal Rem    3. Master Silinder    5. Disc Brake    7. Velocity Sensor
- 2. Booster Rem    4. Pumpsless ABS    6. Roda    8. ECU    9. Power Supply

Gambar 1. Skema pengereman ABS



Gambar 2. Skema pengereman lintasan meurun

Nilai slip ( $\lambda$ ) = 0 , ketika kecepatan roda ( $\omega$ ) sama dengan kecepatan angular kendaraan ( $v$ ), dan nilai slip 1 ketika kecepatan roda ( $\omega$ ) = 0, artinya roda dalam keadaan mengunci. Simulasi dilakukan pada persen slip ( $\lambda$ ) = 0,2 sehingga diharapkan slip sekecil-kecilnya tetapi tetap pada koefisien gesek longitudinal dan koefisien gesek lateral yang cukup besar sesuai dengan grafik pengaruh skid terhadap koefisien adhesi.

$$\lambda = (v - \omega) / v = 1 - \omega / v \dots \dots \dots (4)$$

Torsi pengereman berfungsi untuk mengendalikan kendaraan dan untuk mengurangi kecepatan berupa sebuah hambatan untuk melawan torsi traktif dari energi kinetik kendaraan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau_b = 2 \times F_{cal} \times r_{cal} \times \mu_{cal} \times r_{cal} \dots\dots\dots(5)$$

Torsi Roda adalah torsi traktif yang dihasilkan dari energi kinetik kendaraan yaitu:

$$\tau_t = F_x \sin \theta \cdot r_w \dots\dots\dots(6)$$

$$Gaya \text{ gesek roda } (F_s) : F_s = F_u \cdot \mu(\lambda) \dots\dots(7)$$

$$Gaya \text{ kendaraan } (F_u) : F_u = m \cdot g \cdot \sin \theta \dots\dots(8)$$

Usaha pengereman adalah besarnya gaya yang diberikan untuk memberhentikan kendaraan. Persumusan daya dan usaha dirumuskan sebagai berikut:

$$P = Torsi \text{ brake } \times \omega \text{ roda (Watt)} \dots\dots\dots(9)$$

$$W = \int P dt \text{ (Joule)} \dots\dots\dots(10)$$

**2.2 Model Variabel Keadaan**

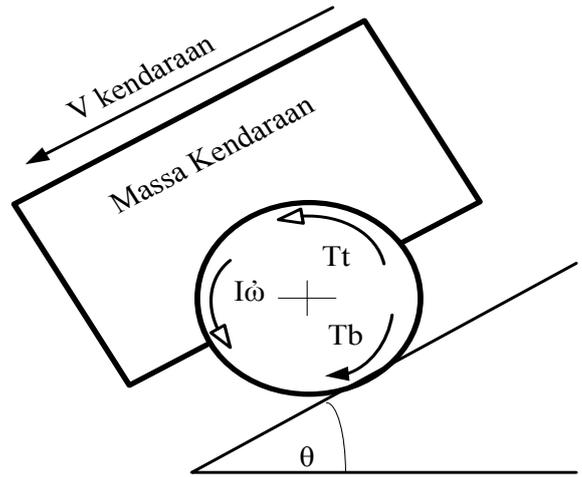
Persaman dari kecepatan angular sesuai diagram gaya (gambar 3) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I\dot{\omega} + T_B - T_t &= 0 \\ I\dot{\omega} &= T_t - T_B \\ \dot{\omega} &= \frac{F_x \cdot r_w - T_B}{I} \\ &= \frac{m_t \cdot g \cdot \mu(\lambda) \cdot r_w - T_B}{I} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

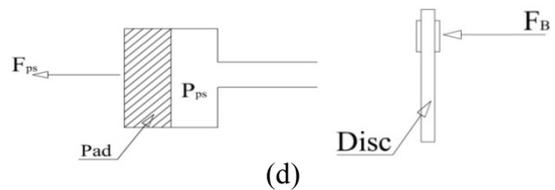
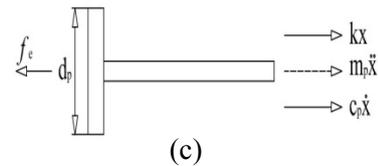
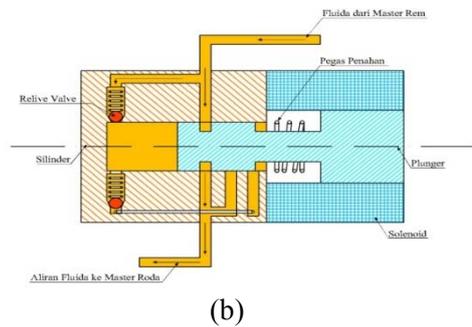
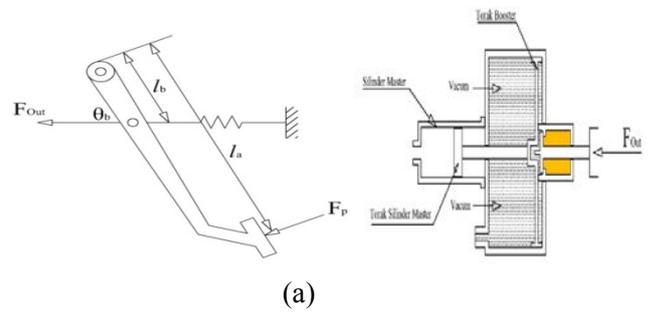
Sedangkan untuk diagram gaya (gambar 4) Persamaan fungsi keadaan dari katup ABS dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_p \ddot{x} + c_p \dot{x} + k x &= F \text{ piston kaliper} \\ m_p \dot{Q} + c_p Q + k Q &= F \text{ piston kaliper} \\ m_p s Q(s) + c_p Q(s) &= F \text{ piston kaliper} \\ F_{ps} = P_{ps} \cdot A_{ps} &= 8MPa \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d_{ps}^2 \\ F_{ps} = 15700 Nm_p s Q(s) + c_p Q(s) &= 15700N \end{aligned}$$

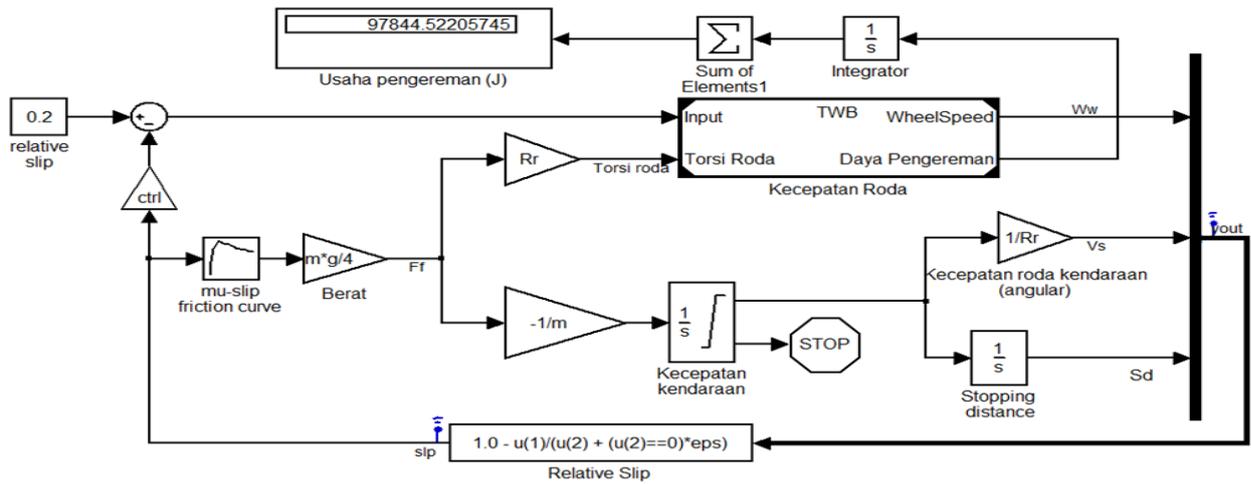
$$\frac{Q(s)}{f_e(s)} = \frac{15700}{m_p s + c_p} \dots\dots\dots(12)$$



**Gambar 3.** FBD pengereman kendaraan

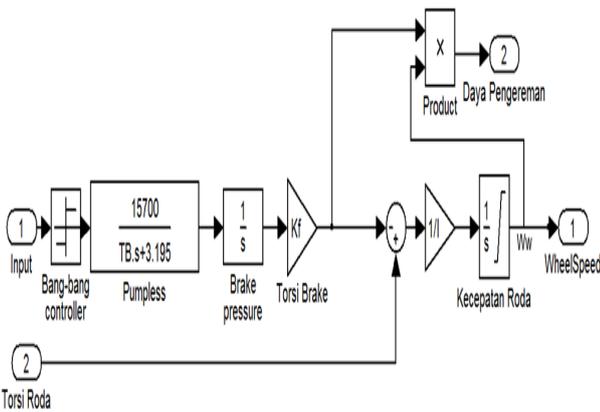


**Gambar 4.** FBD pengereman ABS (a) pedal rem, boster dan master silinder (b) katup hidrolis (c) gaya tekan di kaliper (d) gerak pad kaliper terhadap disc



Gambar 5. Blok diagram simulink

Untuk kecepatan kendaraan baik linier maupun angular diberi kondisi awal 40 km/jam dan jika kendaraan melalui jalan menurun dengan pemvariasian sudut  $\theta$  sebesar  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  maka percepatan tergantung dengan nilai  $\sin \theta$  (pers 2).



Gambar 6. Subblok diagram

Tabel 1. Data SIMULINK MATLAB

Parameter yang digunakan dalam simulasi	
a	10; 20; 30;
g	9.81m/s <sup>2</sup>
V0	11.111111m/s
Rr	0.295m
Kf	302.099N.m
m	1800kg
PBmax	8 MPa
Tb	0.2
I	32.01Kg.m <sup>2</sup>

2.3 Blok Diagram Simulasi

Blok diagram SIMULINK (gambar 5 dan 6) dibuat dari beberapa persamaan model variabel keadaan untuk hubungan dari percepatan, kecepatan dan jarak (pers 11), sedangkan untuk persamaan fungsi transfer digunakan untuk mewakili kerja dari katup hidrolis (pers 12). Inputan kontrol memiliki nilai 1 yang berarti bahwa adanya gerak kontrol dari bang-bang yang mengatur kerja katup.

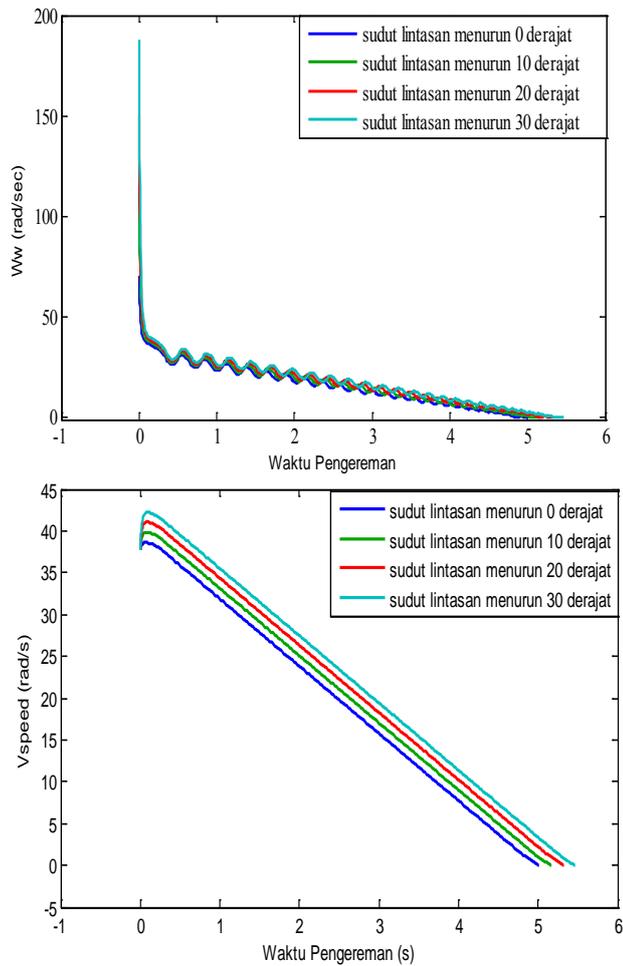
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kecepatan Angular Roda dan Kecepatan Angular Kendaraan

Kecepatan angular roda kendaraan tanpa adanya lintasan menurun menghasilkan 70.4 rad/s (tabel 2). Ketika mengalami jalan menurun dengan asumsi sudut lintasan  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  kecepatan angular roda mengalami kenaikan sebesar 41.46rad/sec, 80.4rad/sec, 117.6rad/sec (gambar 7). Kecepatan angular kendaraan ialah besarnya kecepatan linier dibagi dengan diameter luar roda. Kecepatan angular kendaraan bermula di 37.66rad/sec (tabel 3) karena dilakukan pengereman di lintasan menurun  $0^\circ$  mengalami kenaikan sebesar 0.96rad/sec, pada saat 0.0681s. Sudut turunan  $10^\circ$  mengalami kenaikan sebesar 2.19rad/s di saat 0.088s. Sudut turunan  $20^\circ$  mengalami kenaikan sebesar 3.4 rad/s di saat 0.078s dan untuk lintasan  $30^\circ$  mengalami kenaikan sebesar 4.54rad/s di saat 0.088s (gambar 7).

3.2 Angka slip Roda

Angka slip roda kendaraan adalah perbandingan dari kecepatan angular roda dengan kecepatan linier kendaraan (pers 4). Nilai slip dengan sudut lintasan menurun  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  memiliki kesamaan yaitu 0.27 selama 3.8651s. Waktu akhir pengereman untuk lintasan menurun  $20^\circ, 30^\circ$  berakhir dengan angka slip sedangkan untuk jalan menurun  $10^\circ$  berakhir di angka slip 0.553 (tabel 4) yang berarti kondisi kontak antara roda dan jalan masih bagus (gambar 9).

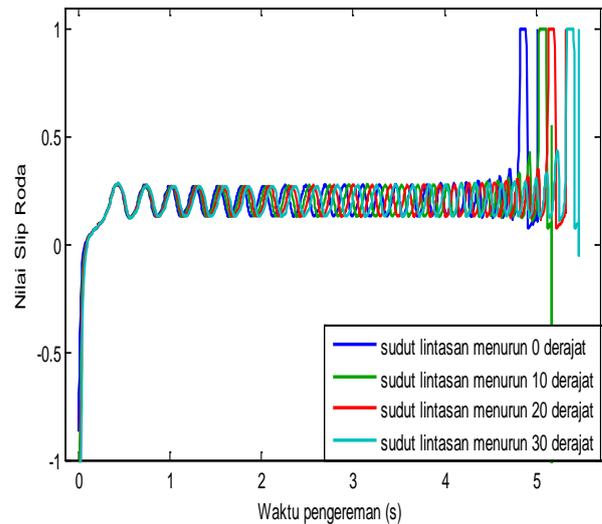


**Gambar 7.** Grafik kecepatan angular roda dan angular kendaraan

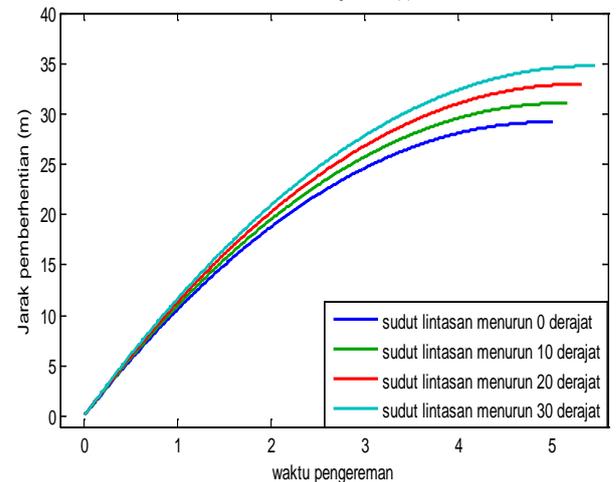
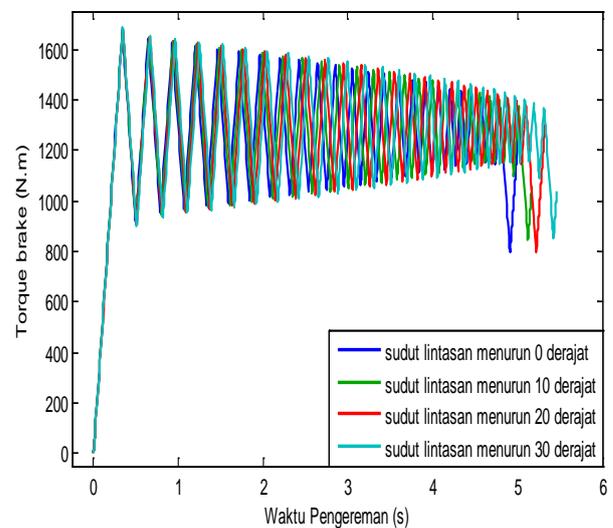
**3.3 Torsi Pengereman dan Jarak Pemberhentian**

Torsi Pengereman dari nilai maximum mengalami fluktuatif yang dikarenakan gerak maju mundur dari katup pengatur tekanan ABS (gambar 9). Pertambahan besar sudut turunan berefek pada respon dari torsi maksimum sebesar 0.014s, 0.027s, 0.014s. Torsi pengereman maksimum juga mengalami kenaikan sebesar 7N.m, 14N.m, 20N.m (tabel 5). Akan tetapi dengan bertambahnya sudut pemvariasian  $10^0$  torsi pengereman pada saat berhenti mengalami penurunan yaitu sebesar 237N.m, untuk sudut menurun  $20^0$  mengalami kenaikan 10N.m, dan untuk sudut menurun  $30^0$  mengalami penurunan sebesar 256N.m (gambar 9) hal ini disebabkan pada waktu kendaraan berhenti posisi piston di kaliper tidak selalu berada di titik mati atas atau di titik mati bawah.

Di lintasan datar jarak pemberhentian kendaraan setiap detik dengan kecepatan awal 40 km/jam sejauh 5.82m, untuk lintasan menurun bersudut  $10^0$ ,  $20^0$ ,  $30^0$  sejauh 6.03m, 6.18m, 6.363m (tabel 6).



**Gambar 8.** Grafik angka slip roda

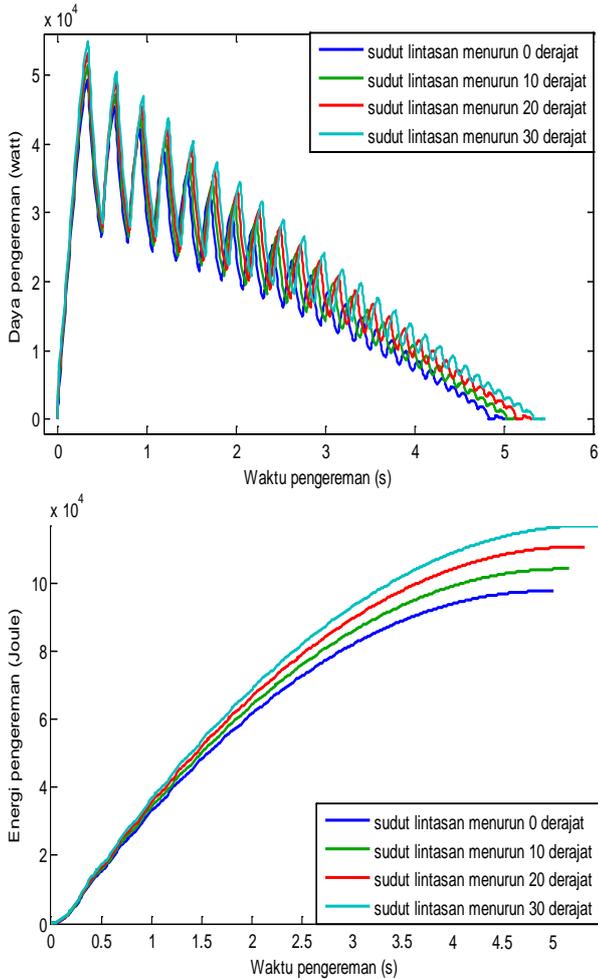


**Gambar 9.** Grafik torsi dan jarak pengereman

Hasil pemodelan memiliki selisih dari rata-rata jarak pengereman dari penelitian terdahulu sebesar 1.1375m. Jarak pemberhentian dari penelitian sebelumnya dengan kecepatan kendaraan 40km/jam (11.11m/s) (tabel 7).

**3.4 Daya dan Energi Pengereman**

Daya pengereman maksimum untuk lintasan menurun bersudut 10<sup>0</sup>, 20<sup>0</sup>, 30<sup>0</sup> mengalami kenaikan sebesar 1.88 kW, 3.71kW, 5.44 kW (tabel 8). Dengan pemvariasian sudut lintasan di jalan menurun ternyata sangat mempengaruhi energi pengereman (gambar 13), hasil simulasi energi pengereman maksimum sesuai pemvariasian sudut lintasan menurun 10<sup>0</sup>, 20<sup>0</sup>, 30<sup>0</sup> mengalami kenaikan sebesar 6.56kJ, 13.06kJ, 19.46kJ (tabel 9). Sedangkan jumlah energi adalah luasan dari grafik yang dibentuk selama proses pengereman yaitu sebesar 24.493kJ, 49.999kJ, 75.007kJ .



**Gambar 13.** Grafik daya dan energi pengereman

**Tabel 2.** Kecepatan angular roda

No	Sudut lintasan(derajat)	Kecepatan Roda(Rad/s)	Angular	waktu
1	0	70.4		0
2	0	0		5.014
3	10	112		0
4	10	0		5.169
5	20	150.8		0
6	20	0		5.325
7	30	188		0
8	30	0		5.464

**Tabel 3.** Kecepatan angular kendaraan

No	Sudut lintasan(derajat)	Kecepatan Angular Kendaraan (Rad/s)	waktu
1	0	37.66	0
2	0	38.62(max)	0.0681
3	10	37.66	0
4	10	39.85(max)	0.088
5	20	37.66	0
6	20	41.06(max)	0.078
7	30	37.66	0
8	30	42.2(max)	0.088

**Tabel 4.** Angka slip roda

No	Sudut lintasan(derajat)	AngkaSlip Roda	Waktu kesetabilan
1	0	0.27	0.2429-4.108
2	0	1	5.014
3	10	0.27	0.2429-4.108
4	10	0.553	5.169
5	20	0.27	0.2429-4.108
6	20	1	5.325
7	30	0.27	0.2429-4.108
8	30	1	5.464

**Tabel 5.** Torsi pengereman

No	Sudut lintasan(derajat)	Torsi Pengereman(N.m)	waktu
1	0 max	1663	0.3425
2	0 akhir	1295	5.014
3	10 max	1670	0.3439
4	10	1058	5.169
5	20 max	1677	0.3452
6	20	1305	5.325
7	30 max	1683	0.3439
8	30	1039	5.464

**Tabel 6.** Jarak pemberhentian

No	Sudut lintasan(derajat)	Jarak pemberhentian(m)	Waktu (s)
1	0	29.2	5.014
2	10	31.08	5.151
3	20	32.96	5.325
4	30	34.77	5.464

**Tabel 7.** Jarak pemberhentian dari penelitian dahulu

No	Sumber	Jarak pemberhentian (m)
1	Road and Rolls(2011)	37
2	Australia auburn and blacktown (2011)	26
3	Wheel magazine (2009)	26.35
4	Wenjuan li dkk(2008)	32
	Rata-rata	30.3375

**Tabel 8.** Daya pengereman

No	Sudut Lintasan (derajat)	Daya Pengereman (kW)	waktu
1	0	49.32(max)	0.3406
2	10	51.2(max)	0.342
3	20	53.03 (max)	0.3434
4	30	54.76(max)	0.3446

**Tabel 9.** Energi pengereman

No	Sudut lintasan(derajat)	Energi Pengereman (kJ)	waktu
1	0	97.84(max)	5.014
2	0	245.309(Total energi)	0-5.014
3	10	104.4 (max)	5.151
4	10	269.802(Total energi)	0-5.151
5	20	110.9(max)	5.325
6	20	295.308(Total energi)	0-5.325
7	30	117.3(max)	5.464
8	30	320.316(Total energi)	0-5.464

#### 4. Kesimpulan

Pada pemodelan pengereman kendaraan yang menggunakan ABS di lintasan jalan menurun dengan variasi sudut  $10^0$ ,  $20^0$ ,  $30^0$  dengan asumsi kecepatan mula kendaraan sebesar 40km/jam, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi menunjukkan jarak pemberhentian adalah 31.08m, 32.96m, 34.77m dengan waktu berhenti selama 5.169s, 5.325s, 5.464s secara berurutan sesuai urutan variasi sudut, selain itu daya yang dibutuhkan untuk proses pengereman adalah 1.88kW, 3.71kW, 5.44kW. Sedangkan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman sebesar 24.493kJ, 49.999kJ, 75.007kJ. Hasil perhitungan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman ini bisa dijadikan acuan dalam perencanaan sistem rem regeneratif, yaitu pemanfaatan energi yang terbuang selama proses pengereman dengan asumsi kendaraan mula-mula bergerak dengan kecepatan 40 km/Jam, khususnya pada kondisi jalan menurun.

#### Nomenklatur

a	percepatan ( $m/s^2$ )
g	percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
Va	kecepatan linier akhir (m/s)
Vo	kecepatan linier awal (m/s)
t	waktu (s)
S	jarak (m)
m	massa (kg)
w	gaya berat ( $kg.m/s^2$ )
$\mu$	koefisien gesek
F	gaya (N)
$\lambda$	nilai slip
$\tau, T, TB$	torsi (N.m)
$\omega$	kecepatan angular (rad/sec)
PB	tekanan (Pa)
A	luas ( $m^2$ )
r, R <sub>r</sub>	jari-jari (m)

W	usaha (joule)
P	daya (watt)
I	inersia ( $kg.m^2$ )
c	konstanta redaman (N.s/m)
k	konstanta pegas (N/m)

#### Subscript

max = maksimum

#### Referensi

- Bhandari Rishabh, Patil Shangram & Singh Ramesh K., Surface prediction and control algorithms for anti-lock brake system. Journal, Transportation Research Part C 21 181-195 (2012)
- Mingxing M.A., Jichuan H., Ghoumin Xu. & Yancahi G., Experimental Investigation on Pressure Gradient of Automotive Hydraulic Anti-lock Braking Systems. Journal, Vol.2 No.3 Automotive Safety and Energy 198-205 (2011)
- Nyandoro O.T., Pedro J.O., Dahunsi O.A & Dwolatzky B., Linear Slip Control Formulation for Vehicular Anti-Lock Braking System with Suspension Effects. Journal, IFAC World Congress Milano (Italy) 4778-4784 (2011)
- Bera T.K., Bhattacharya K., & Samantaray A.K., Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics. Journal, Simulation Modelling Practice and Theory 19 2131–2150(2011)
- Mitunevicius V. & Imelinskas R., Research Of Braking Of Car With Anti-Lock Brake System. Journal, Vilnius Gediminas Technical University Transport Engineering Faculty, J. Basanavičius g. 28, LT-03224, Vilnius, Lithuania 120-125 (2011)
- Guo J., Wang J & Cao B., Study on Braking Force Distribution of Electric Vehicles. Journal, IEEE 978-1-4244-2487 (2009)
- Li Wenjuan, Wang Xudong, Leng Xue & Wang Meng., Modeling and Simulation of Automobile Braking System Based on Kinetic Energy Conversion. Journal, IEEE 978-1-4244-1849 (2008)
- Valiunas Valdas & Vestartas Aurelijus, The Impact of Anti-Lock Braking System on Braking Distance of The Vehicle. Journal, Transport and Telecommunication Vol.6, N 2, 283-286 (2005)