

Pemodelan dan Simulasi Respon Anti Lock Braking System (ABS) pada Kendaraan Berdaya Angkut 1000 kg

Teguh Gito W.P.¹, Harus Laksana Guntur²

¹ Mahasiswa Program Magister, Jurusan Teknik Mesin-ITS

² 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: +62-31-5946230, FAX: +62-31-5922941, E-mail: teguh_gwp@yahoo.com

Abstrak

Sistem rem merupakan salah satu elemen penting kendaraan yang berfungsi mengurangi kecepatan dan menjaga kestabilan arah kendaraan. Kestabilan arah kendaraan merupakan salah satu faktor utama untuk menjamin keamanan dan kemudahan pengendalian bagi pemakai kendaraan. Secara umum sistem pengereman ada 2 jenis, yaitu sistem rem jenis lock dan *anti-lock*. Sistem rem *lock* memiliki kelebihan yaitu, sederhana, tidak membutuhkan energi listrik, dan harganya murah. Kekurangan sistem rem *lock* adalah pada saat menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara membuat roda berhenti berputar (*lock*). Sistem rem *anti-lock* memiliki kelebihan menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara mempertahankan roda tidak *lock* atau dalam keadaan *slip* tertentu. Sistem rem *anti-lock* memiliki kekurangan yaitu teknologinya rumit, konsumsi energi listrik yang besar, dan harganya mahal. Paper ini menyajikan hasil pemodelan dan simulasi penerapan sistem rem *anti lock* atau *Anti Lock Braking System* (ABS) pada kendaraan berdaya angkut 1000 kg pada lintasan jalan lurus-datar untuk beberapa variasi kecepatan kendaraan (40 km/jam, 60 km/jam, 80 km/jam, 100 km/jam, 120 km/jam). Kendaraan dengan ABS dimodelkan secara matematis sehingga didapatkan persamaan dinamika dari sistem. Dengan transformasi Laplace didapatkan *transfer function* dari kendaraan dengan ABS. Dengan bantuan *software* SIMULINK MATLAB didapatkan respon kecepatan kendaraan, kecepatan roda, jarak pengereman, *slip* roda, dan tekanan pengereman. Dibandingkan dengan sistem rem *lock* atau *Lock Braking System* (LBS), hasil simulasi untuk kecepatan 80 km/jam memperlihatkan kendaraan dengan ABS akan berhenti lebih cepat 3.6 detik, roda akan *lock* lebih lama 7.68 detik, jarak pengereman sampai kendaraan berhenti lebih pendek 9.73 meter, roda akan *slip* lebih lama 7.68 detik, dan tekanan pengereman akan bisa dikurangi mencapai 7.8 kPa. Dari hasil pemodelan dan simulasi dapat disimpulkan bahwa respon ABS pada kendaraan berdaya angkut 1000 Kg menunjukkan respon yang lebih baik dibanding dengan sistem rem LBS.

Keywords : Sistem Rem, Stabilitas Kendaraan, *Anti Lock Braking System* (ABS), Pemodelan, Simulasi

I. Pendahuluan

Sistem rem dari suatu kendaraan merupakan salah satu elemen terpenting dari suatu kendaraan untuk keamanan kendaraan. Sistem rem kendaraan harus mampu mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan secara aman baik pada kondisi jalan lurus maupun belok pada segala kecepatan. Pada dasarnya besar ideal gaya rem yang dibutuhkan setiap kendaraan adalah berbeda. Begitu juga distribusi ideal gaya rem pada setiap kendaraan berbeda. Hal ini mengandung arti bahwa sistem rem dari suatu kendaraan tidak langsung memenuhi kebutuhan pengereman untuk kendaraan lain. Secara umum sistem pengereman yang berkembang untuk kendaraan saat ini ada 2 jenis, yaitu sistem pengereman jenis *lock* (*Lock Braking System*, LBS) dan sistem pengereman jenis *anti lock* (*Antilock Braking System*, ABS).

Sistem pengereman jenis *lock* yaitu sistem rem yang untuk menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara membuat roda berhenti berputar (*lock*). Sistem pengereman jenis *anti lock* yaitu sistem rem untuk menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara mempertahankan roda tidak *lock* atau dalam keadaan *slip* tertentu dimana koefisien adhesi antara jalan dan ban adalah paling besar sehingga jarak berhenti kendaraan lebih pendek dan kendaraan masih tetap stabil walau direm pada saat kendaraan berbelok. Sistem rem *lock* memiliki kelebihan yaitu, sederhana, tidak membutuhkan energi listrik, dan harganya murah. Kekurangan sistem rem *lock* adalah pada saat menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara membuat roda berhenti berputar (*lock*). Sistem rem *anti-lock* memiliki kelebihan menghentikan kendaraan dilakukan dengan cara mempertahankan roda tidak *lock* atau dalam keadaan *slip* tertentu. Sistem rem *anti-lock* memiliki kekurangan yaitu

teknologinya rumit [1] [2]. Charles [3] dalam penelitiannya membandingkan tingkat kecelakaan yang dialami pengemudi kendaraan dengan dilengkapi ABS dengan tanpa ABS. Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa pengendara kendaraan yang dilengkapi ABS jauh lebih sedikit mengalami kecelakaan dibandingkan dengan pengendara kendaraan tanpa dilengkapi dengan ABS. Jeremy [4] dalam meneliti dampak kecelakaan mobil di Inggris, dimana membandingkan dampak kecelakaan pada mobil yang menggunakan ABS dan tanpa ABS, hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa dampak kecelakaan bagi pengendara dengan mobil yang tidak dilengkapi ABS akan lebih parah diderita pengendaranya dari pada pengendara dengan mobil yang dilengkapi dengan ABS. Paper ini menyajikan hasil pemodelan dan simulasi penerapan sistem rem *anti lock* atau *Anti Lock Braking System* (ABS) pada kendaraan berdaya angkut 1000 kg pada lintasan jalan lurus-datar untuk beberapa variasi kecepatan kendaraan (40 km/jam, 60 km/jam, 80 km/jam, 100 km/jam, 120 km/jam). Kendaraan dengan ABS dimodelkan secara matematis sehingga didapatkan persamaan dinamika dari sistem. Dengan transformasi Laplace didapatkan *transfer function* dari kendaraan dengan ABS. Dengan bantuan software SIMULINK MATLAB didapatkan respon kecepatan kendaraan, kecepatan roda, jarak pengereman, *slip* roda, dan tekanan pengereman.

II. Pemodelan Dinamika Kendaraan

Pemodelan dinamika pengereman dilakukan pada sistem pengereman kendaraan GEA. GEA adalah merek mobil Indonesia yang dibuat oleh PT INKA (Industri Kereta Api). Mobil Gea merupakan Program Riset Nasional yang GEA merupakan singkatan dari Gulirkan Energi Alternatif.



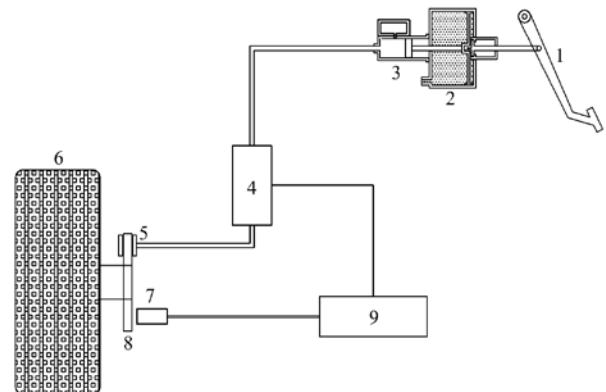
Gambar 1. Mobil Pick-Up GEA.

Mobil GEA berkapasitas 640 cc. ditujukan untuk membuat mobil nasional dimulai pada tahun 2002, dalam program ini pembuatan mesin diserahkan kepada BPPT dan pembuatan bodi mobil diserahkan kepada PT. INKA.

Pemodelan sistem pengereman mobil *pick-up* GEA ditunjukkan pada gambar 2. Pemodelan dilakukan dengan memodelkan setiap setiap komponen mekanik dari sistem pengereman Pick-Up GEA. Pemodelan matematika mulai dari pedal rem, booster rem, master silinder, kaliper rem, dan pemodelan piringan rem. Data spesifikasi pick-up GEA, yang ditunjukkan pada tabel 1 dimasukkan dalam pemodelan ini kemudian acuan untuk mengetahui besarnya gaya pengereman yang terjadi pada kendaraan pick-up GEA tersebut. Dari hasil pemodelan matematika, sistem pengereman kendaraan pick-up GEA di dapatkan gaya pengereman yang dibutuhkan sebesar 4315.7135 N. Gambar 2 adalah komponen sistem pengereman *Anti-Lock Braking System* (ABS) yang akan dimodelkan dan disimulasikan. Gambar 3 menunjukkan dinamika kendaraan yang sedang berjalan dengan kecepatan kendaraan v dan kecepatan roda ω . Saat kendaraan berjalan kemudian dilakukan pengereman, maka akan terjadi dinamika kendaraan sampai kendaraan itu berhenti.

Keterangan gambar 2 :

1. Pedal Rem
2. Booster Rem
3. Master Silinder
4. Modulator
5. Silinder Roda
6. Roda
7. Velocity Sensor
8. Disk
9. ECU



Gambar 2. Pemodelan sistem pengereman ABS.

Pada saat pengereman putaran roda akan dilawan oleh torsi pengereman seperti ditunjukkan pada persamaan 1, kemudian torsi dari gaya gesek roda pada jalan terhadap jari-jari roda seperti ditunjukkan pada persamaan 3.

Brake Torque (T_B) :

$$\begin{aligned} T_B &= F_B \cdot r_{pd} \\ &= 4315,7135 \cdot 0,07 \\ &= 302,099 \text{ N.m} \end{aligned} \quad (1)$$

Tractive Torque (T_t) :

$$T_t = F_x \cdot r_w \quad (2)$$

Tire Friction Force (F_x) :

$$F_x = F_z \cdot \mu(\lambda) \quad (3)$$

Vertical Force (F_z) :

$$F_z = m_t \cdot g \quad (4)$$

Massa Total (m_t) :

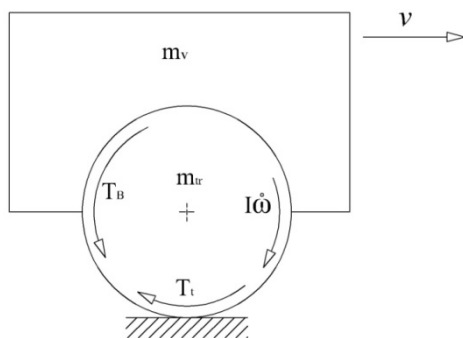
$$m_t = m_v + m_{tr} \quad (5)$$

Persamaan Dinamika Roda :

$$\begin{aligned} I\dot{\omega} + T_B - T_t &= 0 \\ I\dot{\omega} &= T_t - T_B \\ \dot{\omega} &= \frac{T_t - T_B}{I} \\ &= \frac{F_x \cdot r_w - T_B}{I} \\ &= \frac{m_t \cdot g \cdot \mu(\lambda) \cdot r_w - T_B}{I} \end{aligned} \quad (6)$$

Tabel 1. Data spesifikasi GEA Model *Pick-Up*.

Berat Total	660 kg
Berat Depan	380 kg
Berat Belakang	280 kg
Jarak pedal rem ke tumpuan	0,28 m
Jarak push rod ke tumpuan	0,09 m
Diameter dalam master silinder	0.03 m
Diameter silinder kaliper	0,05 m
Diameter roda	0,59 m



Gambar 3. Pemodelan Kendaraan.

Persamaan dinamika kendaraan :

$$\begin{aligned} \sum F &= m \cdot a \\ -F_x &= m_t \cdot a \\ -F_x &= m_t \cdot \dot{v} \\ \dot{v} &= \frac{-F_x}{m_t} \\ &= \frac{-m_t \cdot g \cdot \mu(\lambda)}{m_t} \end{aligned} \quad (7)$$

Persamaan dinamika ban :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{v - \omega}{v} \\ &= 1 - \frac{\omega}{v} \end{aligned} \quad (8)$$

Nilai slip (λ) = 0, ketika kecepatan roda (ω) sama dengan kecepatan kendaraan (v), dan nilai slip 1 ketika kecepatan roda (ω) = 0, artinya roda dalam keadaan *lock*, tidak berputar.

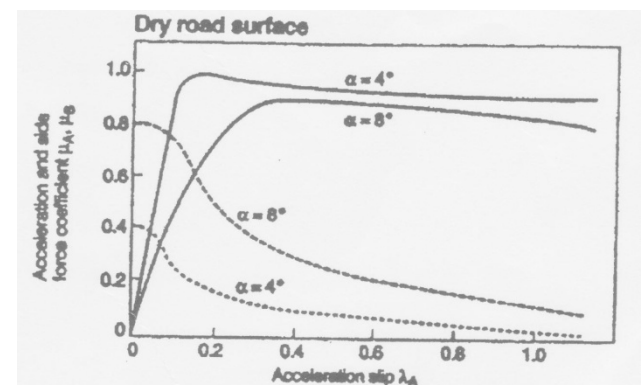
Persamaan Inersia Roda :

$$\begin{aligned} I &= \frac{m_t \cdot g \cdot r_w^2}{48} \\ &= \frac{1800 \cdot (0.295)^2}{48} \\ &= 32.01 \text{ Kg. m}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

III. Eksperimen Simulasi

Tabel 2. Parameter simulasi MATLAB Simulink.

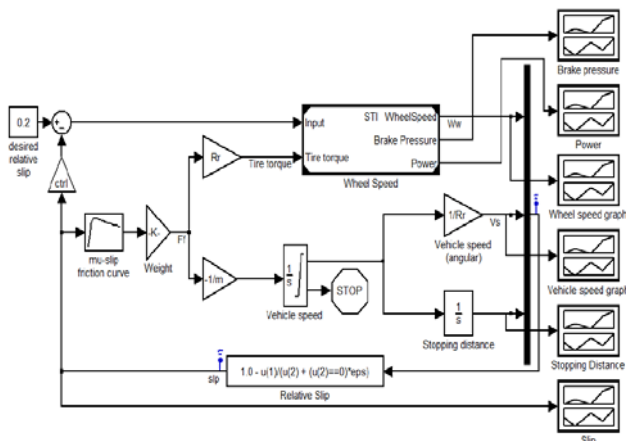
Konstanta gravitasi	9.81 m/s ²
Radius Roda	0.295 m
Torsi	302.009 N/m
Massa total	1800 Kg
Inersia	32.01 Kg. m ²
Nilai Slip	0.2
Koefisien gesek roda-jalan	0.244
Kecepatan awal kendaraan	40-120 km/jam



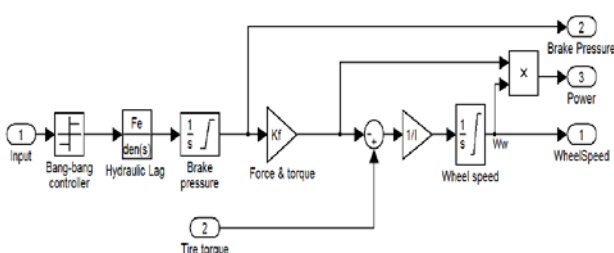
Gambar 4. Pengaruh *skid* terhadap koefisien *adhesi*.

Dengan bantuan *software* MATLAB SIMULINK akan disimulasikan sistem pengereman dengan ABS dan LBS. Parameter yang dimasukkan pada simulasi dihitung dari pemodelan matematika sistem pengereman *pick-up* GEA. Tabel 2 adalah parameter simulasi yang digunakan untuk simulasi. Simulasi dilakukan pada persen *slip* (λ) = 0,2, sehingga diharapkan *slip* sekecil kecilnya tetapi tetap pada koefisien gesek longitudinal dan koefisien gesek lateral yang cukup besar sesuai dengan grafik pada gambar 4 untuk pengaruh *skid* terhadap koefisien *adhesi*.

Berikut adalah blok SIMULINK MATLAB yang di buat untuk memvalidasi model matematika sistem pengereman *Lock Braking System* (LBS) dan *Anti-lock Braking System* (ABS). Blok sistem SIMULINK MATLAB di buat dua blok sistem. Blok sistem yang utama atau main program MATLAB SIMULINK yang merupakan Model *Anti-Lock Braking Sistem* (ABS) seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Blok sistem yang kedua adalah sub sistem atau sub program dari main program MATLAB SIMULINK ABS seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Sub system ini merupakan program kecepatan roda, dari sub sistem ini dapat dikeluarkan simulasi respon untuk kecepatan roda, daya kendaraan dan tekanan rem. Output dari main program adalah *stopping distance*, kecepatan kendaraan, dan *slip respon*.



Gambar 5. Main program MATLAB SIMULINK.



Gambar 6. Sub program MATLAB SIMULINK.

IV. Hasil Simulasi dan Analisis

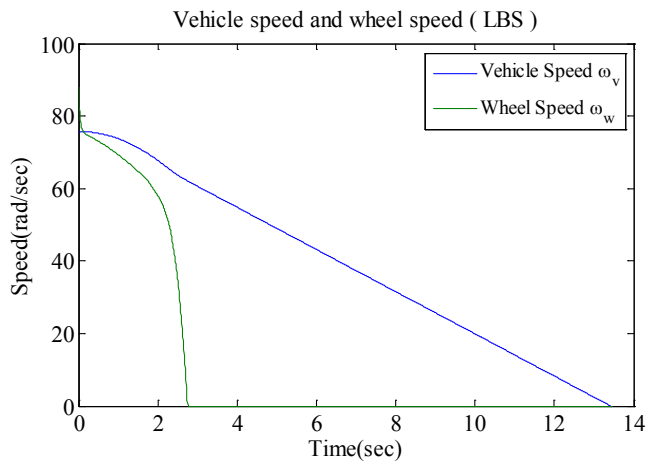
Dari hasil simulasi program MATLAB SIMULINK untuk sistem pengereman sistem *lock* (*Lock Braking System*, LBS) dan sistem *anti lock*, (*Anti-lock Braking System*, ABS) di dapatkan beberapa karakteristik pengereman. Pada paper ini dilakukan simulasi untuk beberapa kecepatan kendaraan, mulai dari kecepatan 40 km/jam, 60 km/jam, 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Untuk tampilan hasil simulasi akan ditampilkan pada simulasi dengan kecepatan kendaraan 80 km/ jam, sedangkan hasil simulasi pada kecepatan variasi yang lain akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Berikut adalah hasil simulasi untuk kecepatan 80 km/jam. Pada gambar 7 adalah simulasi kecepatan kendaraan dan kecepatan roda dengan sistem pengereman sistem *lock*. Kecepatan kendaraan akan sama dengan nol atau berhenti pada 7.2 detik, dan kecepatan roda akan sama dengan nol atau berhenti berputar (*lock*) pada 2.4 detik. Dari analisa tersebut, kendaraan akan *slip* dalam waktu 4.8 detik. Artinya, mulai detik ke 2.5 sampai 7.2 roda sudah tidak berputar, tapi bodi kendaraan akan terus berjalan.

Pada gambar 8 adalah simulasi kecepatan kendaraan dan kecepatan roda dengan sistem pengereman sistem pengereman *Anti-lock Braking System* (ABS). Kecepatan kendaraan akan sama dengan nol atau berhenti pada 10.36 detik, dan kecepatan roda akan sama dengan nol atau berhenti berputar (*lock*) pada 10.08 detik. Selisih berhentinya kendaraan dan roda terjadi dalam waktu singkat, kurang dari satu detik. Dari repon kendaraan dan roda menunjukkan simulasi ABS berjalan dengan baik.

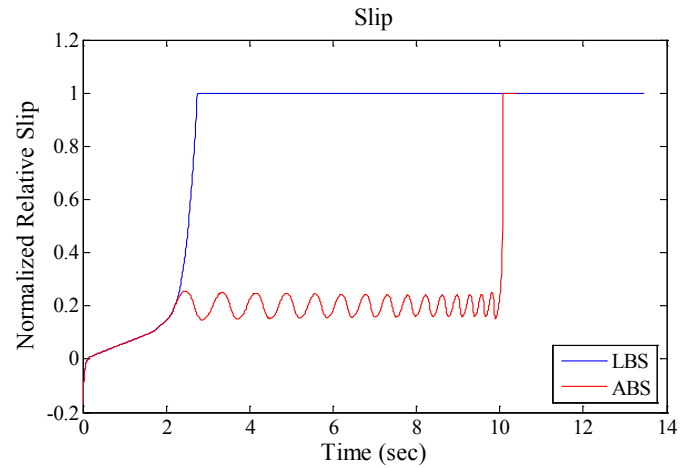
Pada gambar 9 menunjukkan grafik *stopping distance* untuk kendaraan ABS dan LBS, pada kendaraan LBS, kendaraan akan berhenti pada jarak 51.62 meter dalam waktu 13.42 detik. Pada kendaraan dengan ABS, berhenti pada jarak 41.89 meter dalam waktu 10.36 detik. Terjadi selisih jarak berhenti lebih cepat sejauh 9.73 meter untuk kendaraan ABS. Selisih waktu juga terjadi lebih cepat 3.06 detik untuk kendaraan ABS.

Pada gambar 10 menunjukkan grafik *slip respon*. Pada kendaraan LBS *slip* terjadi pada 2.74 detik setelah pengereman. Pada kendaraan ABS *slip* terjadi pada 10.08 detik setelah pengereman. Terjadi selisih waktu 7.34 detik lebih lama kendaraan dengan ABS.

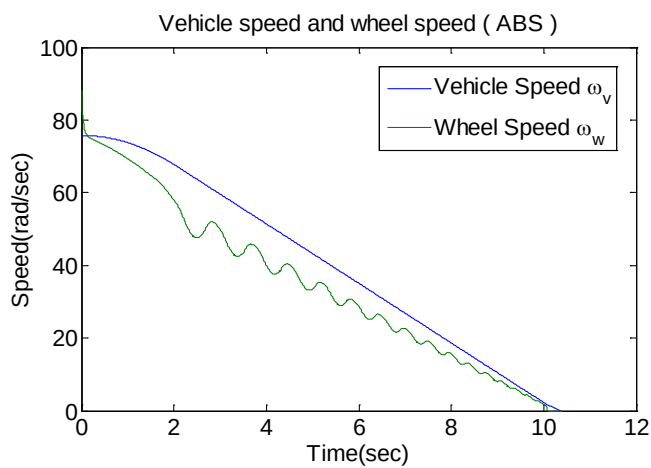
Pada gambar 11 menunjukkan grafik tekanan pengereman. Tekanan pengereman pada LBS mengalami tekanan maksimum pada tekanan 8.87 kPa. Tekanan pengereman dengan ABS terjadi pada tekanan 1.5 kPa. Terjadi penurunan tekanan pengereman sebesar 7.3 kPa. Dari grafik tekanan juga menunjukkan pada kendaraan ABS terjadi fluktuasi tekanan yang mengakibatkan roda tidak terkunci langsung ketika dilakukan pengereman penuh.



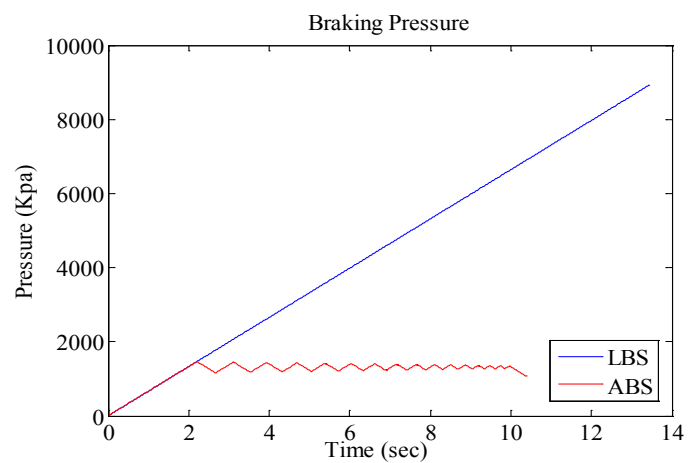
Gambar 7. Kecepatan kendaraan dan roda (LBS).



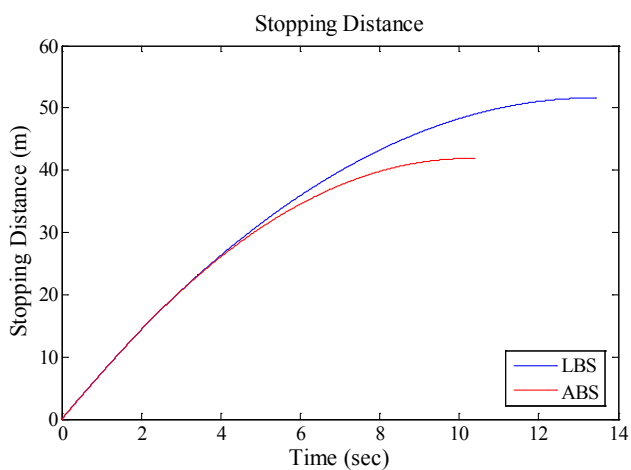
Gambar 10. Slip respon kendaraan.



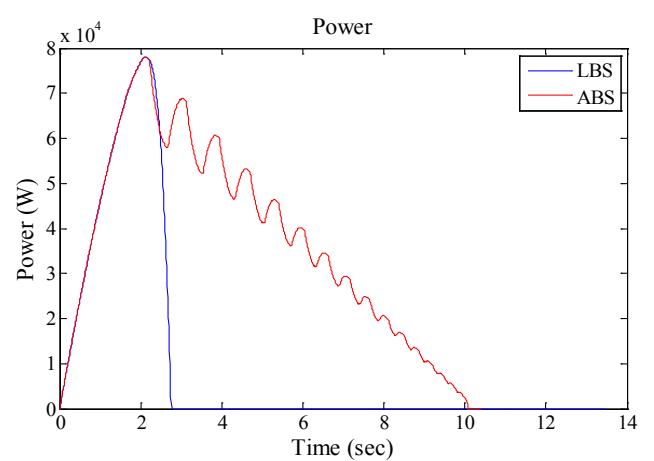
Gambar 8. Kecepatan kendaraan dan roda (ABS).



Gambar 11. Tekanan pengereman kendaraan.



Gambar 9. Stopping distance kendaraan.



Gambar 12. Daya kendaraan saat pengereman

Tabel 3. Data *stopping distance* hasil simulasi.

Kecepatan Awal	<i>Stopping Distance</i> (meter)	
	LBS	ABS
40 Km/jam	14.93	12.98
60 Km/jam	30.52	25.44
80 Km/jam	51.62	41.89
100 Km/jam	78.32	62.4
120 Km/jam	110.5	87.03

Pada gambar 12 menunjukkan grafik daya kendaraan saat terjadi pengereman. Pada kendaraan LBS daya kendaraan saat terjadi pengereman akan lebih sedikit karena roda *lock* lebih cepat. Pada kendaraan ABS daya kendaraan saat terjadi pengereman akan lebih besar, karena roda berhenti lebih lama.

Tabel 3 menampilkan data *stopping distance* hasil simulasi untuk kecepatan 40 km/jam, 60 km/jam, 80 km/jam, 100 km/jam, 120 km/jam. Dalam tabel ini hanya ditampilkan *stopping distace*, karena dari *stopping distance* untuk LBS, dan ABS ini bisa mewakili respon kendaraan yang LBS dan ABS, seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh Li [5]. Dari hasil simulasi *stopping distance* untuk berbagai variasi kecepatan pada tabel 3 menunjukkan hasil *stopping distance* untuk LBS lebih jauh dari pada kendaraan dengan ABS.

V. Kesimpulan

Dari hasil pemodelan dan simulasi penerapan sistem rem *anti lock* atau *Anti Lock Braking System* (ABS) pada kendaraan *pick-up* GEA berdaya angkut 1000 kg pada lintasan jalan lurus-datar untuk beberapa variasi kecepatan kendaraan (40 km/jam, 60 km/jam, 80 km/jam, 100 km/jam, 120 km /jam) menunjukkan beberapa karakteristik respon kendaraan. Simulasi hasil respon kendaraan yang bisa mewakili karakteristik dari kendaraan dengan LBS dan ABS adalah respon *stopping distance*. Pada kecepatan 40 km/jam, *stopping distance* untuk LBS adalah 14.93 meter, untuk ABS adalah 12.98 meter. Pada kecepatan 60 km/jam *stopping distance* untuk LBS adalah 30.52 meter, untuk ABS adalah 25.44 meter. Pada kecepatan 80 km/jam *stopping distance* untuk LBS adalah 51.62 meter, untuk ABS adalah 41.89 meter. Pada kecepatan 100 km/jam *stopping distance* untuk LBS adalah 78.32 meter, untuk ABS adalah 62.4 m eter. Pada kecepatan 120 k m/jam *stopping distance* untuk LBS adalah 110.5 km/jam, untuk ABS adalah 87.03 meter. Jadi dapat disimpulkan bahwa dari hasil pemodelan dan simulasi respon sistem pengereman ABS pada kendaraan *pick-up* GEA lebih baik dibanding dengan sistem pengereman LBS (*Lock Braking System*).

Nomenklatur

F_p	Gaya injakan pengemudi (N)
F_z	Gaya normal (N)
F_x	Gaya gesek roda (N)
g	Gaya gravitasi (m/s^2)
I	Inersia roda (Kg.m)
m_t	Massa total kendaraan (Kg)
m_v	Massa kendaraan (Kg)
m_{tr}	Massa ban (Kg)
R_r	Jari jari roda (m)
R	Resistansi fluida ($N.s/m^2$)
r_{pd}	Jarak pad dengan poros roda (m)
T_t	Tractive torque (N.m)
T_B	Torsi brake (N.m)
v	Kecepatan kendaraan (m/s)

Greek Letters

μ_d	Konstanta gesek disc
ω	Kecepatan angular roda (rad/s)
λ	Konstanta slip
μ	Koefisien gesek roda jalan
ρ	Density (Kg/m^3)
μ_f	Koefisien viscositas fluida ($N.s/m^2$)

Referensi

- [1] Jeonghon Song, "Performance evaluation of hybrid electric brake system with a sliding mode controller", *Mechatronics*, vol. 15, pp. 339-358, March 2005.
- [2] M. C. Wu, M. C. Shil, " Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system control using sliding-mode PWM control", *Mechatronics*, vol.13, pp. 331-351, May 2003.
- [3] Farmer, C. M., " New evidence concerning fatal crashes of passenger vehicles before and after adding anti-lock braking system", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 33, pp.361-369,2001.
- [4] Broughton, J. C. Baughan, " The effectiveness of anti-lock braking systems in reducing accidents in Great Britin", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 34, pp.347-355,2002.
- [5] Li, W. Wang, X. Leng, X. Wang, M., " Modeling and Simulation of Automobile Braking System Based on Kinetic Energy Conversion", *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 978-1-4244-1849-7/08, 2008.