

Pemodelan *Anti-Lock Braking System* dengan *Bang-Bang Controller*

Muhammad Elias Esa Bagus¹, Sugiarto², Trie Handayani³

Prodi Teknik Elektro, FTI, ITNY

Ehhlias21@gmail.com

Abstrak

Sistem pengereman sangat penting karena saat mobil berpindah dari satu titik ke titik yang lain kecepatannya harus diubah mengikuti kondisi jalanan dan terkadang dilakukan proses pengereman. Namun sistem pengereman konvensional biasanya akan mengalami penguncian pada roda jika dilakukan *hard braking*, jika roda terkunci saat pengereman maka akan berakibat slip yang dapat menyebabkan kecelakaan. Salah satu solusinya yaitu dengan menggunakan sistem pengereman *Anti-Lock Braking System*. Sistem pengereman (ABS) adalah proses pengereman yang tidak mengalami penguncian sehingga roda tidak mengalami slip. Terkadang sistem ABS menerapkan *Bang-bang Controller* sebagai pengganti kontroler ON-OFF yang lazim digunakan pada kontroler pengereman. Kelebihan metode *Bang-bang* yaitu mampu mengontrol sistem yang tidak linier, sederhana, mampu bekerja dengan respon cepat dan tidak membutuhkan pemodelan matematis dari sistem yang akan dikontrol. ABS memodulasi garis tekanan independen rem dari kekuatan pedal, sehingga kecepatan roda kembali ke tingkatan slip yang diperbolehkan untuk kinerja pengereman yang optimal. Saat pengereman, nilai kecepatan kendaraan menurun dengan gradien yang tajam dari kecepatan 70km/jam menjadi 0km/jam dalam kurun waktu 14 detik. Sedangkan kecepatan roda, walaupun terjadi penurunan secara tajam namun mempunyai bentuk yang berkelok-kelok (berbentuk bukit dan lembah); sebagai contoh pada periode 10 detik, pada waktu sekitar 6 detik kecepatan roda menurun hingga 35 km/jam, kemudian 2 detik berikutnya akan naik menjadi 40km/jam dan akhirnya pada 2 detik berikutnya menurun lagi menjadi 18 km/jam.

Kata Kunci: *Bang-bang Controller*, *Anti-Lock Braking System* (ABS)

1. PENDAHULUAN

Sistem pengereman sangat penting pada sistem operasi wahana darat (mobil) yang bergerak dari kondisi awal ke kondisi akhir. Saat mobil berpindah dari satu titik ke titik yang lain, kecepatannya harus diubah mengikuti kondisi jalanan yang mungkin sedang banyak kendaraan lain ataupun terdapat halangan lain yang mungkin menghalangi perjalanan kendaraan tersebut. Sistem pengereman ini digunakan untuk menghentikan perjalanan kendaraan tersebut.

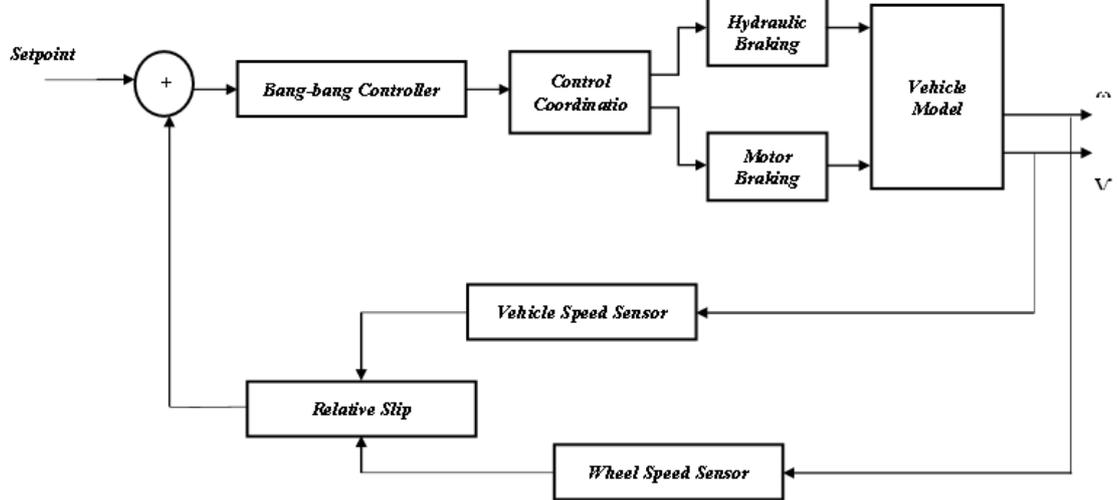
Anti-lock Braking System (ABS) merupakan sebuah sistem pengereman yang menghentikan kendaraan dengan mempertahankan penguncian roda tidak berkelanjutan (pada saat pengereman roda berhenti berputar) sehingga roda tetap berputar dan resultan gaya akan searah dengan arah putar roda (Lilik Budiarto, 2019). Kendali pada ABS umumnya menggunakan kendali *on-off* untuk menggerakkan kaliper rem, bahkan ada yang menggunakan kontroler *bang-bang* yang merupakan kendali optimal. Beberapa kelebihan metode *Bang-bang Controller* yaitu mampu mengontrol sistem yang tidak linier, sederhana, mampu bekerja dengan respon cepat dan tidak membutuhkan pemodelan matematis dari sistem yang akan dikontrol (Reza, Noviardi 2016).

2. METODE

Metode penelitian skripsi ini bersifat eksperimen. Analisis karakteristik sistem didapatkan dengan mensimulasikan sistemnya yang berupa pengereman *Anti-lock Braking System* (ABS) menggunakan metode kendali *Bang-bang*. Perangkat lunak pendukung adalah MATLAB/Simulink. Penelitian dilakukan di Laboratorium Listrik, Prodi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, dengan menggunakan komputer digital (laptop) dan fokusnya adalah simulasi kerja dari sistem kendali terkait. Alat dan bahan penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras berupa laptop dengan prosesor i3-7020 CPU @ 2.30GHz 2.30GHz, 64-bit operating

system, x64-based processor. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB/Simulink Versi R.2017.a.

Pensimulasian sistem pengereman ABS membutuhkan alat yang dapat membuat sebuah rangkaian blok diagram simulasi (seperti yang terlihat pada Gambar 1.1) beserta data-data yang diperlukan menjadi satu kesatuan gambar, alat tersebut adalah perangkat lunak MATLAB/Simulink.

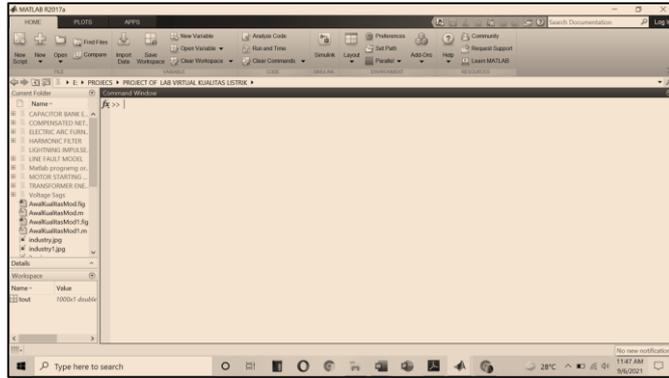


Gambar 1.1 Blok diagram sederhana sistem ABS

Matlab merupakan bahasa canggih untuk komputansi teknik. Matlab merupakan integrasi dari komputansi, visualisasi dan pemograman dalam suatu lingkungan yang mudah digunakan, karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam notasi matematika biasa. Kegunaan Matlab secara umum adalah untuk matematika dan komputansi, pengembangan dan algoritma, pemodelan, simulasi dan pembuatan prototype, analisa data, eksplorasi dan visualisasi dan pembuatan aplikasi termasuk pembuatan *graphical user interface*.

Matlab adalah sistem interaktif dengan elemen dasar *array* yang merupakan basis datanya. *Array* tersebut tidak perlu dinyatakan khusus seperti di bahasa pemograman yang ada sekarang. Hal ini memungkinkan anda untuk memecahkan banyak masalah perhitungan teknik, khususnya yang melibatkan matriks dan vektor dengan waktu yang lebih singkat dari waktu yang dibutuhkan untuk menulis program dalam bahasa C atau Fortran. Pada intinya matlab merupakan sekumpulan fungsi-fungsi yang dapat dipanggil dan dieksekusi. Fungsi-fungsi tersebut dibagi-bagi berdasarkan kegunaannya yang dikelompokkan didalam *toolbox* yang ada pada matlab.

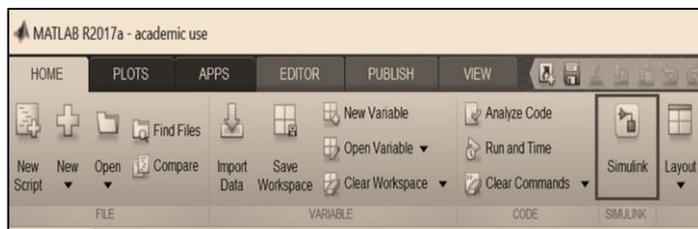
Program Matlab dimulai dengan desktop Matlab yang berisi *tools (graphical user interface)* untuk mengatur file, peubah dan aplikasi yang berhubungan dengan Matlab, terlihat pada Gambar 1.1. *Command window* untuk memasukan peubah dan menjalankan function atau M-files. Setiap perintah yang ditulis di *command window* langsung ditampilkan. Bila perintah anda salah akan keluar pesan *error*.



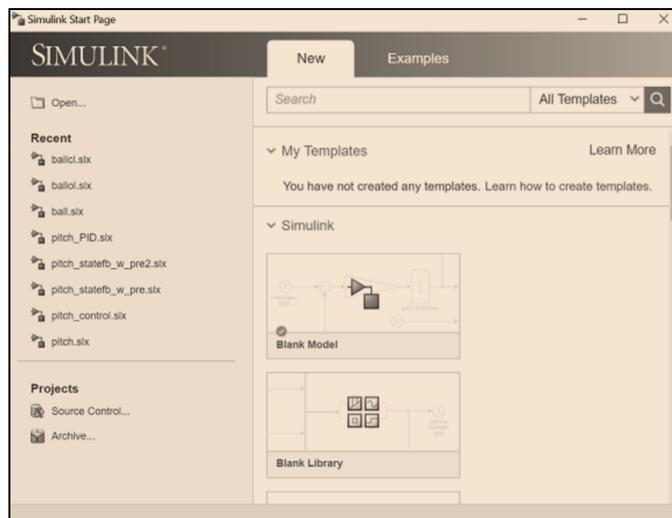
Gambar 1.2 Desktop MATLAB R2017.a

Di Simulink, sistem digambar di layar sebagai diagram balok. Banyak elemen diagram balok yang tersedia, seperti fungsi transfer, *summing junction*, perangkat masukan dan virtual luaran seperti generator fungsi dan osiloskop. Simulink terintegrasi dengan MATLAB dan data yang dapat dengan mudah ditransfer antar program. Simulink yang diterapkan digunakan untuk memodelkan sistem, membangun pengontrol, dan mensimulasikan sistem.

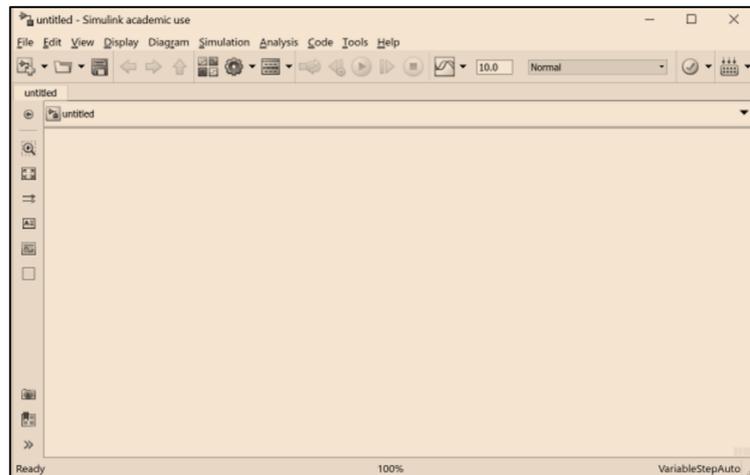
Simulink dimulai dari *command prompt* MATLAB dengan memasukkan perintah *Simulink* atau dapat menekan tombol *Simulink* di bagian atas jendela MATLAB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3. Simulink menampilkan satu jendela, berjudul halaman awal Simulink yang dapat dilihat pada Gambar 1.4. Setelah meng-klik model kosong atau *blank model*, jendela baru akan muncul tampilan seperti terlihat pada Gambar 1.5



Gambar 1.3 Layar lokasi dari tombol Simulink

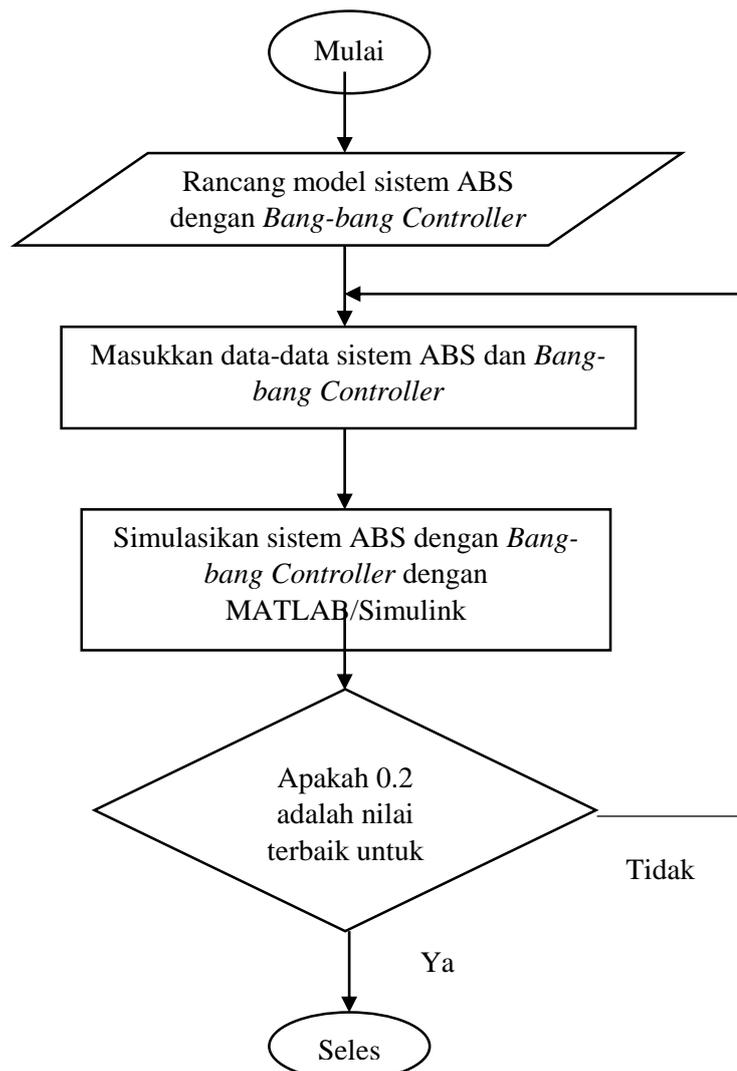


Gambar 1.4 Tampilan awal Simulink



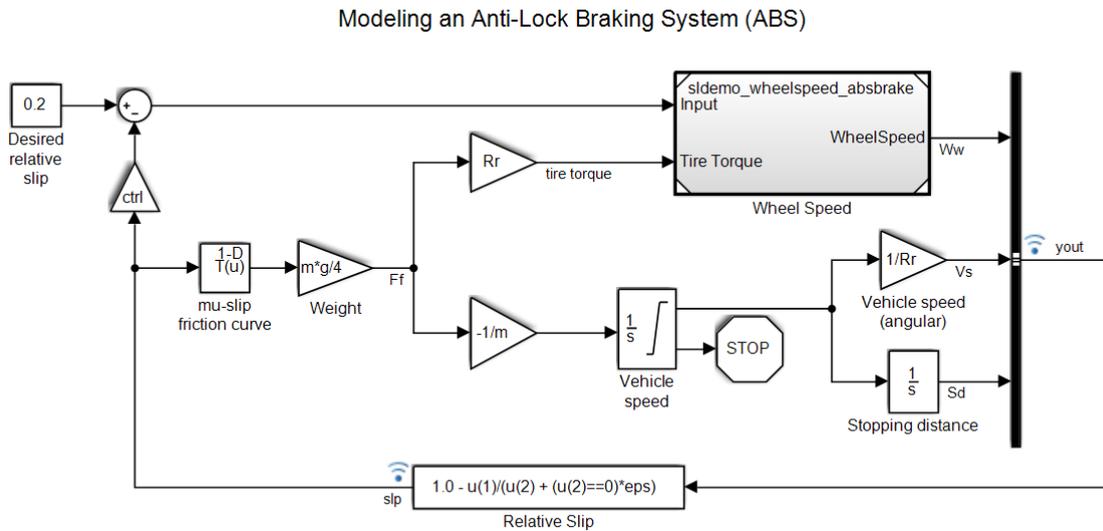
Gambar 1.5 Tampilan *blank model*

Penelitian skripsi yang berfokus pada sistem kendali *Anti-lock Braking System* dengan *Bang-bang Controller* dilakukan menggunakan dua-proses besar, yaitu pemodelan dan simulasi, seperti terlihat pada Gambar 1.1.



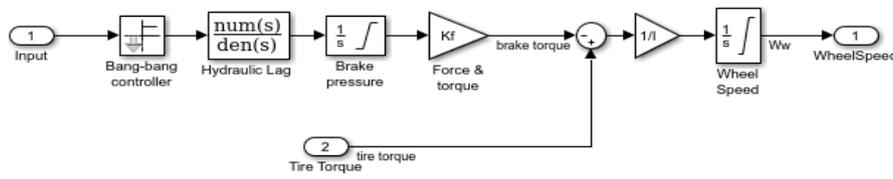
Gambar 1.6 *Flowchart* tahapan penelitian

Permasalahan nilai *slip* ini akan diselesaikan dengan dua-proses besar, yaitu melakukan perancangan model dan mensimulasikan sistem ABS. Pertama-tama membuat model simulasi sistem pengereman ABS dengan *Bang-bang Controller* dalam bentuk blok diagram. Pemodelan simulasi ABS adalah tugas pertama yang sangat penting dalam membuat perhitungan kontrol untuk ABS. Variasi ABS ini sangat nonlinier dan bervariasi terhadap waktu. Pemodelan sistem pengereman ABS telah dikembangkan di perangkat lunak MATLAB dengan mempertimbangkan semua bagian yang terlibat dalam perhitungan kecepatan kendaraan, kecepatan roda, rasio *slip* dll. Pemodelan ABS yang dikembangkan di perangkat lunak MATLAB/Simulink terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.7 Diagram simuling pemodelan sistem ABS

Kemudian masukkan data-data yang dibutuhkan kontroler, untuk mengontrol laju perubahan tekanan rem, model mengurangi *slip* aktual dari *slip* yang diinginkan dan memasukkan sinyal ini kedalam kontrol *Bang-bang*. Tingkat hidup/mati ini melewati jeda orde pertama yang menunjukkan penundaan yang terkait dengan saluran hidraulik sistem rem. Model kemudian mengintegrasikan tingkat yang tersaring untuk menghasilkan tekanan rem yang sebenarnya. Sinyal yang dihasilkan, dikalikan dengan radius terhadap roda (K_f), itu adalah torsi rem yang diterapkan pada roda. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8. Subsystem kecepatan roda dan *Bang-bang Controller*

Nilai konstanta yang digunakan saat mengembangkan model ABS adalah sebagai berikut:

- *Gravitational constant* $g=32.18 \text{ ft/s}^2$
- *Initial velocity of vehicle* $v_0=88 \text{ ft/s}$
- *Wheel Radius* $r=1.25 \text{ ft}$
- *Mass of vehicle* $m=50 \text{ lbs.}$
- *Maximum Braking Torque* $T_{max}=1500 \text{ ft}\cdot\text{lb}\cdot\text{s}$
- *Hydraulic Lag* $\tau=0.01 \text{ s}$
- *Moment of Inertia* $J_w=5 \text{ ft}^4$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari simulasi ini didapatkan melalui menyamakan nilai *slip* ABS dengan nilai *Desired Relative Slip* menggunakan metode kendali *Bang-bang* pada pemodelan sistem pengereman ABS.

$$\omega_v = \frac{V}{R} \text{ (Sama dengan kecepatan sudut jika tidak ada slip)}$$

$$\omega_v = \frac{V_v}{R_r}$$

$$\text{slip} = 1 - \frac{\omega_w}{\omega_v}$$

ω_v = Kecepatan kendaraan dibagi dengan radius roda

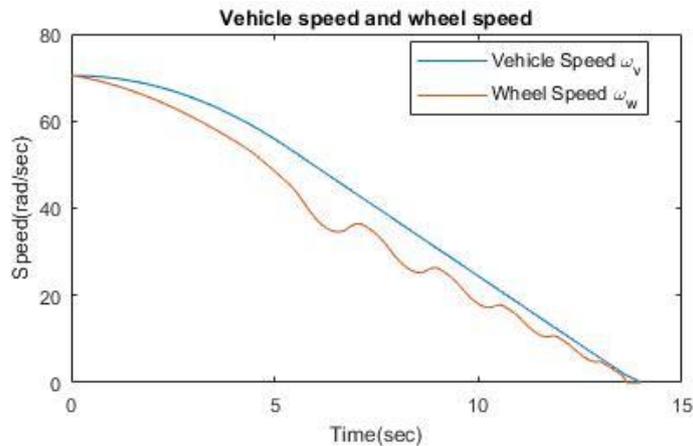
V_v = Kecepatan linier kendaraan

R_r = Radius roda

ω_w = Kecepatan sudut roda

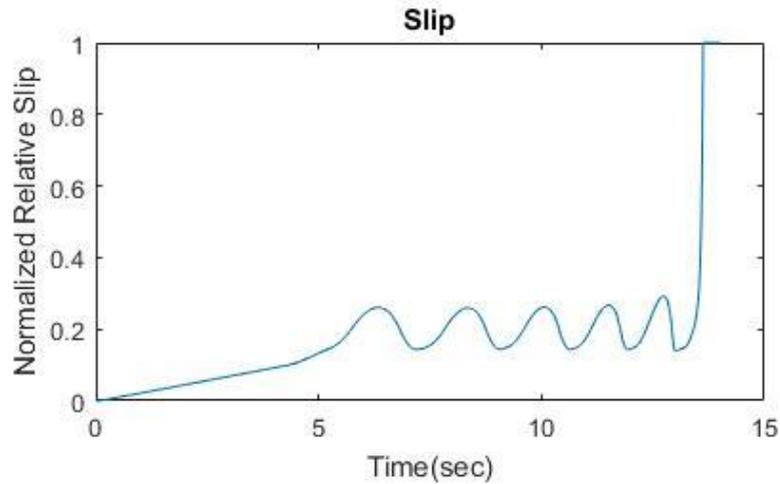
Kita melihat bahwa *slip* = 0 ketika kecepatan roda dan kecepatan kendaraan sama, dan *slip* = 1 jika roda terkunci.

Nilai dari keseluruhan simulasi terlihat pada gambar-gambar dibawah.



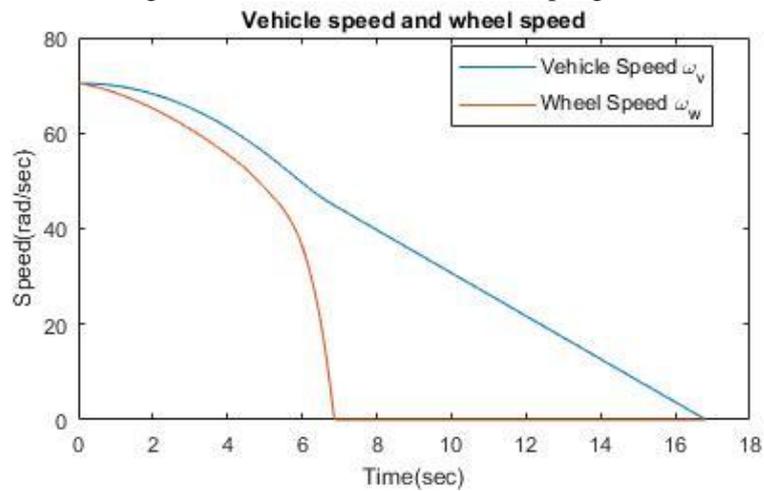
Gambar 2.1. Grafik kecepatan kendaraan dan kecepatan roda.

Gambar 2.1 menyiratkan kondisi pengereman kendaraan yaitu nilai antara kecepatan kendaraan dengan kecepatan roda. Saat pengereman, nilai kecepatan kendaraan menurun dengan gradien yang tajam dari kecepatan 70km/jam menjadi 0km/jam dalam kurun waktu 14 detik. Sedangkan kecepatan roda, walaupun terjadi penurunan secara tajam namun mempunyai bentuk yang berkelok-kelok (berbentuk bukit dan lembah); sebagai contoh pada perioda 10 detik, pada waktu sekitar 6 detik kecepatan roda menurun hingga 35 km/jam, kemudian 2 detik berikutnya akan naik menjadi 40km/jam dan akhirnya pada 2 detik berikutnya menurun lagi menjadi 18 km/jam.

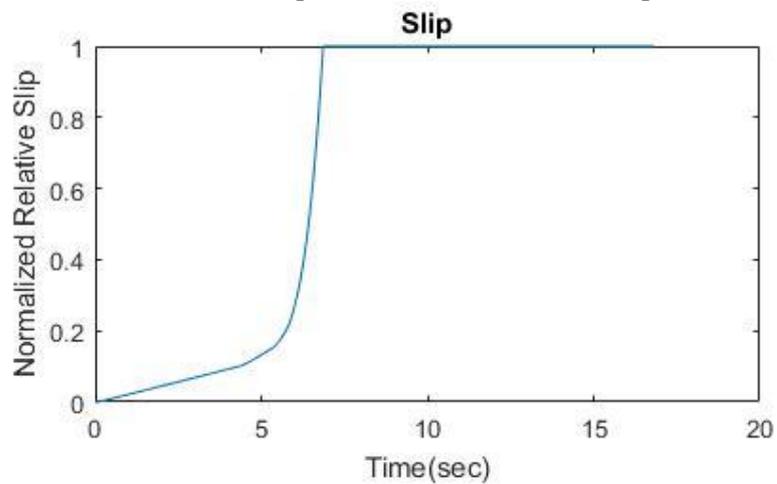


Gambar 2.2 Grafik slip.

Gambar 4.1 mendeskripsikan nilai *Relative Slip* yang dinormalisasi, karena *slip* diakibatkan oleh adanya perbedaan antara kecepatan roda dan kecepatan body kendaraan. Kemudian mengkombinasikan data kecepatan sebelum dilakukan pengereman dan saat melakukan pengereman. Terlihat pada Gambar 4.2 bahwa nilai *slip* mulai dari detik ke 5 hingga detik ke 13 akan membentuk gelombang osilasi untuk mencegah roda terkunci saat melakukan pengereman.



Gambar 2.3 Kecepatan roda dan kendaraan tanpa ABS



Gambar 2.4 Slip tanpa ABS

Proses perbandingan antara sistem pengereman menggunakan ABS *Bang-bang* dan tanpa sistem pengereman ABS. Bisa dilihat pada Gambar 4.3 ketika dilakukan pengereman, kecepatan roda dan kecepatan kendaraan berbeda, sehingga kecepatan roda mengalami *locking* dalam kurun waktu 7 hingga 17 detik. Berikut adalah perbandingan kecepatan dan *slip* yang divariasikan seperti yang terlihat pada Tabel 1.1, Tabel, 1.2 dan Tabel 1.3.

No.	Waktu	Nilai <i>Slip Wheel Speed</i>		
		S = 0.1	S = 0.2	S = 0.3
1.	2 detik	65 km/jam	67 km/jam	65 km/jam
2.	4 detik	55 km/jam	57 km/jam	55 km/jam
3.	6 detik	46 km/jam	43 km/jam	38 km/jam
4.	8 detik	38 km/jam	32 km/jam	<i>Lock</i>
5.	10 detik	28 km/jam	18 km/jam	28 km/jam
6.	12 detik	20 km/jam	10 km/jam	20 km/jam
7.	14 detik	10 km/jam	0 km/jam (<i>stop</i>)	<i>Lock</i>
8.	16 detik	0 km/jam (<i>stop</i>)	-	4 km/jam
9.	18 detik	-	-	17 detik 0 km/jam (<i>stop</i>)

Tabel 1.1 Kecepatan 70 km/jam

No.	Waktu	Nilai <i>Slip Wheel Speed</i>		
		S = 0.1	S = 0.2	S = 0.3
1.	2 detik	75 km/jam	75 km/jam	74 km/jam
2.	4 detik	64 km/jam	63 km/jam	65 km/jam
3.	6 detik	54 km/jam	47 km/jam	45 km/jam
4.	8 detik	47 km/jam	38 km/jam	<i>Lock</i>
5.	10 detik	38 km/jam	26 km/jam	20 km/jam
6.	12 detik	28 km/jam	16 km/jam	28 km/jam
7.	14 detik	20 km/jam	7 km/jam	10 km/jam
8.	16 detik	10 km/jam	15 detik 0 km/jam (<i>stop</i>)	<i>Lock</i>
9.	18 detik	0 km/jam (<i>stop</i>)	-	0 km/jam (<i>stop</i>)

Tabel 1.2 Kecepatan 80 km/jam

No.	Waktu	Nilai <i>Slip Wheel Speed</i>		
		S = 0.1	S = 0.2	S = 0.3
1.	2 detik	96 km/jam	92 km/jam	96 km/jam
2.	4 detik	85 km/jam	81 km/jam	83 km/jam
3.	6 detik	75 km/jam	60 km/jam	65 km/jam
4.	8 detik	62 km/jam	57 km/jam	5 km/jam
5.	10 detik	55 km/jam	45 km/jam	12 km/jam
6.	12 detik	50 km/jam	34 km/jam	49 km/jam
7.	14 detik	37 km/jam	25 km/jam	36 km/jam
8.	16 detik	28 km/jam	12 km/jam	<i>Lock</i>
9.	18 detik	15 km/jam	0 km/jam (<i>stop</i>)	18 km/jam
10.	20 detik	9 km/jam	-	10 km/jam
11.	22 detik	0 km/jam (<i>stop</i>)	-	0 km/jam (<i>stop</i>)

Tabel 1.3 Kecepatan 100 km/jam

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan skripsi ini, ketika sistem pengereman yang menggunakan *Anti-Lock Braking System* (ABS) dan yang tidak menggunakan ABS memiliki hasil yang berbeda secara signifikan. Ketika sistem pengereman menggunakan ABS disimulasikan, kendaraan yang sedang melaju dengan kecepatan 70km/jam dapat dihentikan ke kecepatan 0km/jam dalam kurun waktu 14 detik dan roda tidak terkunci, terlihat pada Gambar 2.1.

Sedangkan sistem pengereman yang tidak menggunakan ABS memiliki hasil seperti yang terlihat di Gambar 2.3, dimana kendaraan yang sedang melaju pada kecepatan 70km/jam mencapai ke kecepatan 0km/jam pada waktu 17 detik, dan roda akan terkunci dari kecepatan 50km/jam hingga 0km/jam. Ketika roda kendaraan terkunci, kendaraan akan sangat sulit untuk dikendalikan, yang mana bisa mengakibatkan kendaraan kehilangan arah.

Oleh karena itu sistem pengereman yang menggunakan ABS lebih memiliki keunggulan daripada sistem yang tidak menggunakan ABS, dikarenakan sistem pengereman ABS dapat menghentikan kecepatan kendaraan lebih cepat daripada sistem pengereman yang tidak menggunakan ABS, dan sistem pengereman yang menggunakan ABS rodanya tidak terkunci pada saat melakukan pengereman.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.5, 4.6 dan 4.7 nilai *slip* yang paling tepat adalah 0.2 dengan berbagai kecepatan. Karena dapat menghentikan mobil lebih cepat, dan yang lebih penting adalah roda kendaraan tidak terkunci.

5. SARAN

Adapun beberapa saran untuk memperbaiki penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Menambahkan detail-detail alat ukur, misalkan seperti permukaan jalan yang berbeda-beda dan penggunaan jenis dan ukuran ban yang digunakan pada kendaraan.
2. Pemrograman dapat dipermudah dengan menggunakan *user interface*, salah satunya adalah *Graphical User Interface* (GUI) karena nilai-nilai parameter dari simulasi dapat diinput dari layar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad O. Moaaz, Ahmed S. Ali and Nouby M. Ghazaly. 2020 Egypt. International Journal of Control and Automation Vol. 13, No 1s (2020), pp. 137-153.
- Czyba, R., Niezabitowski, M. dan Sikora, S. 2016. Construction of Laboratory Stand and Regulation in ABS Car System. *17th International Carpathian Control Conference (ICCC)*.
- Fenoria Putri, Tri Widagdo, Mardiana, M. Ginting 2018. Politeknik Negri Sriwijaya. "INOVASI PADA PENERAPAN SEPEDA MOTOR KONVENSIONAL MENGGUNAKAN METODE ABS (ANTILOCKED BRAKE SYSTEM)". Volume 10 Nomor 1.
- Jiyi Nur Fauzan 2017. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. "Analisis Kinerja AntiLock dan Lock Braking System Pada Kendaraan Sport Utility Vehicle".
- Kachane, D. dan Srivatav, A. 2016. Antilock Braking System and Its Advancement. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol. 3, Issue. 5, May.
- Laurie & Newstead 2014. MONASH University. "POTENTIAL SAFETY BENEFITS OF EMERGING CRASH AVOIDANCE TECHNOLOGIES IN AUSTRALASIAN HEAVY VEHICLES. Report No. 324.
- Lilik Budiarto 2018. Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang. Mahasiswa Program Studi Mesin Otomotif. "Anti-Lock Braking System".
- Reza, Noviardi 2016. Universitas Andalas. "RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERFORMANSI *BANG-BANG CONTROLLER* SEBAGAI PENGONTROL KESTABILAN TEGANGAN OUTPUT DARI BOOST CONVERTER DENGAN TEGANGAN INPUT DAN BEBAN YANG BERVARIASI".
- Rosinova, D. dan Kozakova, A. 2020. Laboratory ABS Control: Fuzzy or PID Controller? *Proceeding of Conference Cybernetics & Informatics (K&I)*, DOI: [10.1109/KI48306.2020.9039796](https://doi.org/10.1109/KI48306.2020.9039796).
- Sahu, D., Sharma, R., Bharti, D. dan Srivastava, U. N. 2013. Control Algorithm for Anti-Lock Braking System. *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2013*, Nov. 15-21, San Diego, California, USA.
- William Penny, W. C. dan Schalk Els, P. 2016. The Test and Simulation of ABS on Rough, non-Deformable Terrains. *Journal of Terramechanics*, Vol. 67, pp: 1-10