

Rancang bangun sistem rem *anti-lock brake system* (abs) dengan penambahan komponen vibrator solenoid

Zakaria¹, Wibowo², Wibawa²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

Email korespondensi: wibowo_uns@yahoo.com@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis getaran sistem pengereman dengan penambahan komponen vibrator solenoid yang diatur dengan sistem kontrol untuk menghasilkan efek ABS. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *slam stick*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinyal domain frekuensi dengan penambahan komponen vibrator solenoid mempunyai puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz, sedangkan sinyal domain frekuensi saat pengereman tanpa penambahan komponen vibrator solenoid tidak terdapat puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz. Dari data tersebut maka sistem pengereman ABS bekerja sesuai dengan setting sistem pengereman ABS yang memberikan sinyal 10 Hz.

Kata kunci: getaran, abs, vibrator solenoid, frekuensi 10 hz.

Abstract

This study aims to analyze the vibration of the braking system equipped by solenoid vibrator component arranged with a control system to produce an ABS effect. Data collection is done by using *slam stick*. The results showed that the frequency domain signal with the addition of the solenoid vibrator component had peaks at 10 Hz frequency, while the frequency domain signal during braking without the addition of the solenoid vibrator component there were no peaks at 10 Hz frequency. From the data, the ABS braking system works in accordance with the ABS braking system that provides 10 Hz signal.

Keywords: vibration, abs, solenoid vibrator, frequency 19 hz.

1. Pendahuluan

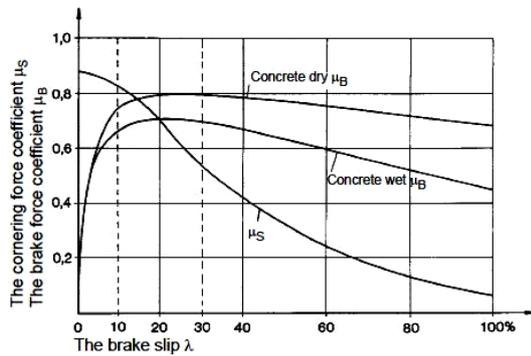
Pengereman pada kendaraan merupakan permasalahan yang penting dalam pengoperasian kendaraan, hal ini menyangkut keamanan dan kenyamanan pengguna kendaraan. Pada kendaraan yang umum masih dipakai di Indonesia adalah sistem rem *lock*, dimana roda berhenti berputar atau mengurangi kecepatan putar roda untuk menghentikan kendaraan atau mengurangi kecepatan kendaraan, hal ini dilakukan dengan cara menginjak pedal rem dimana variabel gaya tekannya sesuai dengan kebutuhan pengereman. Sistem *lock* ini mempunyai kelemahan, yaitu jarak berhenti yang panjang karena koefisien adhesif antara roda dan jalan ke arah longitudinal menjadi kecil sehingga gaya pengereman menjadi minim.[5]

Peralatan ABS pada kendaraan masih relatif mahal, sehingga dilakukan penelitian untuk mencari alternatif permasalahan tersebut. Dengan menambahkan alat penggetar yang menimbulkan getaran yang mengakibatkan getaran pada *pad* dan hal ini menyebabkan pengereman tidak *lock*. Hal ini untuk mendapatkan sistem baru pengereman yaitu menjadi semi *lock*.

Prinsip kerja ABS

Ketika pedal rem diinjak, kecepatan roda akan berkurang selanjutnya roda cenderung terkunci. Pada titik ini ABS *control unit* akan menghitung *deceleration* kecepatan roda yang telah ditentukan pada sistem pengereman. Jika sistem mendeteksi bahwa kendaraan dalam kondisi yang tidak aman, ABS *control unit* segera memerintahkan untuk mengurangi tekanan minyak rem pada kaliper. Ketika tekanan hidrolik turun, kecepatan roda akan naik. Setelah kecepatan roda bertambah, *control unit* akan memerintahkan untuk menambah tekanan minyak rem. Oleh karena itu, roda akan segera terkunci kembali. Dengan demikian, kecepatan dan pengereman mobil akan terkontrol kembali. Sewaktu pedal rem diinjak, sistem ABS akan memberikan perlambatan kecepatan kendaraan secara berangsur-angsur sampai kendaraan benar-benar berhenti. Keadaan ini terjadi karena adanya penambahan dan pengurangan tekanan minyak rem secara periodik sampai mobil benar-benar berhenti dalam interval waktu yang sangat singkat. Saat kendaraan mengerem maka kecepatan roda-rodanya akan melaju dalam kelembaman yang memungkinkan terjadi selip antara ban dan permukaan jalan, sehingga diperoleh *slip ratio*, yaitu:

$$\text{Slip ratio} = \frac{\text{Kecepatan bodi} - \text{kecepatan roda}}{\text{Kecepatan bodi}} \times 100 \% \quad (1)$$



Gambar 1. Kurva slip ratio[1]



Gambar 2. Komponen utama rem ABS

Gambar 2 menunjukkan komponen utama rem ABS antara lain: *Electronic Control Unit* (ECU), sensor kecepatan, dan *Modulator Unit*.

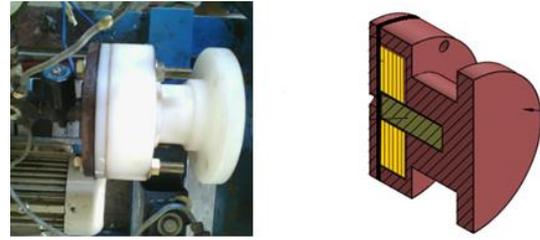
Dasar pengoperasian sistem ABS standar yang ada adalah sebagai berikut:

- Dalam situasi pengereman mendadak, sensor kecepatan roda akan mengirim sinyal ke ECU saat terjadi perubahan kecepatan roda secara mendadak.
- ECU akan memberikan signal pada *Modulator Unit* (unit-unit pengontrol hidrolis) untuk mengurangi atau menambah tekanan minyak rem agar rem bekerja sesuai dengan keadaan yang diperlukan. Pada kondisi tersebut *pad* bergetar 10-20 kali perdetik sehingga *slip ratio* pengereman (10% - 30%) dan mencegah penguncian roda. Kampas rem adalah bagian dari rem yang berfungsi memberikan gesekan pada piringan saat mendapatkan tekanan hidraulik dari master silinder.

Solenoid

Solenoid adalah salah satu perangkat terapan yang sederhana sebuah magnet listrik. Solenoid mempunyai koil yang akan berubah menjadi medan magnet apabila dialiri arus listrik sehingga menggerakkan logam besi di bagian dalamnya. Komponen ini yang akan digunakan untuk menggetarkan tekanan fluida yang diaktifkan dengan rangkaian arduino yang diprogram sesuai dengan

kebutuhan frekuensi getaran kampas rem yang dibutuhkan sehingga menimbulkan efek ABS.



Gambar 3. Solenoid

Rumus yang digunakan untuk mencari besar gaya untuk menggerakkan atau menarik batang besi di dalam kumparan adalah

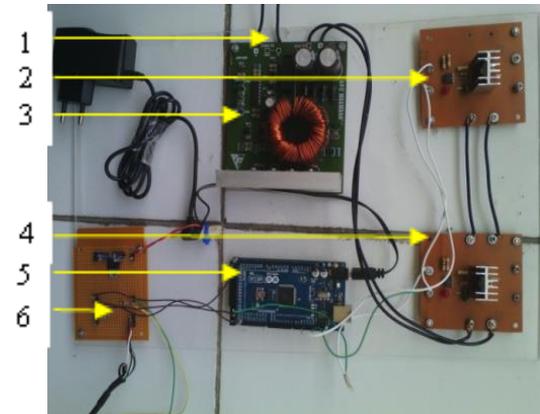
$$F = \frac{\pi R^2 B^2}{2\mu_o} \left(\frac{\mu_m}{\mu_o} - 1 \right) \quad (2)$$

Keterangan :

- F = Gaya (N)
- R = Jari-jari pipa (cm)
- B = Medan magnet (T)
- μ_m = Permeabilitas magnetik induktor (H/m)
- μ_o = Permeabilitas ruang hampa (H/m)

Arduino

Arduino adalah mikrokontroler yang bisa diprogram untuk mengendalikan berbagai komponen elektronika. Arduino bersifat *open-source hardware* yang fleksibel dan mudah digunakan.[2]



Gambar 4. Rangkain Sistem Kontrol

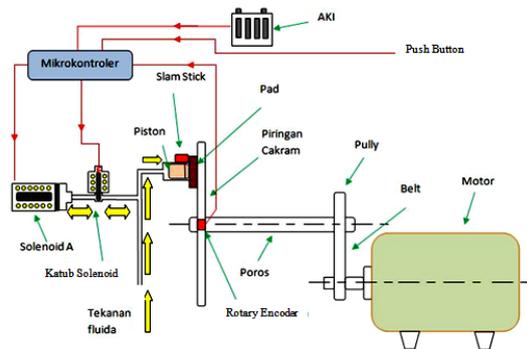
Keterangan :

1. Kabel dari Aki
2. Rangkaian elektronik ke Solenoid A
3. Inverter dari 12 V menjadi 24 V
4. Rangkaian elektronik ke Solenoid B
5. Arduino ATMEGA 2560
6. Rangkaian elektronik dari Rotary Encoder

2. Metode

Pengujian getaran sistem pengereman dilakukan dengan menggunakan *slam stick*. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi dan

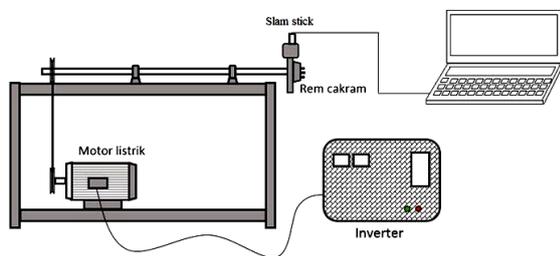
amplitudo sistem pengereman. Data yang didapatkan dari metode ini berupa sinyal dalam domain waktu. Dari data domain waktu tersebut kemudian sinyal diproses ke dalam domain frekuensi dan selanjutnya dianalisis dengan menggunakan Matlab. Skema dan *setup* pengujian ditunjukkan pada gambar 3 dan 4 sebagai berikut:



Gambar 5 Skema pengujian sistem rem ABS[2][7]

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian sebagai berikut :

1. Motor listrik digunakan sebagai sumber penggerak.
2. *Slam stick* digunakan untuk mengukur sinyal getaran.
3. *Rotary Encoder* digunakan untuk mengkonversi posisi angular (sudut) dari shaft (lubang) atau roda ke dalam kode digital.
4. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan motor listrik.
5. Solenoid digunakan sebagai vibrator untuk menggetarkan *pad*.
6. Katup solenoid digunakan untuk buka tutup fluida rem.
7. Aki digunakan sebagai sumber energi listrik.
8. Mikrokontroler digunakan untuk mengendalikan beberapa komponen.
9. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan.
10. Laptop.



Gambar 6. Skema proses pengambilan data amplitudo getaran sistem

Pada gambar 6 menunjukkan skema proses pengambilan data amplitudo getaran sistem. Tahap pertama pengambilan data ini menggunakan komponen tambahan *solenoid* pada sistem pengereman. Selanjutnya mengatur putaran motor

listrik menggunakan *inverter* dengan meng-input nilai frekuensi *inverter*, sehingga didapatkan *output* putaran piringan 425, 675, 850 dan 1062 rpm. Kemudian menjalankan motor listrik melalui *inverter* sesuai dengan putaran yang telah disesuaikan. Meletakkan *slam stick* pada kaliper rem (arah radial) . Lalu menekan tombol *on* pada *slam stick*. Setelah *slam stick* aktif, tekan tombol *stop* pada inverter disaat yang bersamaan tekan pedal rem. Langkah akhir yaitu menghubungkan *slam stick* ke komputer sehingga didapatkan data amplitudo dan frekuensi getaran sistem pengereman.

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan tekanan rem

Berat mobil	= 835 kg
	(termasuk 4 penumpang)
Koefisien gesek	= 0,35 (tabel)
Kecepatan awal	= 60 km/jam = 16,67 m/s
Kecepatan akhir	= 0 (setelah direm)
Jarak pengereman	= 15 m (asumsi)
Diameter roda	= 13" = 33 cm
Jari-jari piston caliper	= 2,65 cm
Jari-jari master rem	= 1 cm

Perlambatan

$$V_t = V_o + at \quad (3)$$

Keterangan:

V_t = Kecepatan akhir (m/s)

V_o = Kecepatan awal (m/s)

a = Perlambatan (m/s²)

t = Waktu (s)

Jadi perlambatannya adalah:

$$0 = 16,67 + at$$

$$a = - \frac{16,67}{t} \text{ m/s}^2$$

Waktu pengereman

$$S = V_o t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

Keterangan:

S = Jarak pengereman (m)

V_o = Kecepatan awal (m/s)

a = Perlambatan (m/s²)

t = Waktu (s)

Sehingga waktu pengeremannya adalah:

$$15 = 16,67 t + \frac{1}{2} \left(- \frac{16,67}{t} \right) t^2$$

$$t = 6,67 \text{ s}$$

Substitusi $t = 6,67$ ke $a = - \frac{16,67}{t} \text{ m/s}^2$

$$\text{Sehingga } a = - \frac{16,67}{6,67} = - 2,5 \text{ m/s}^2$$

Gaya pengereman

$$F = m.a \quad (5)$$

Keterangan:

F = Gaya pengereman (N)

m = Berat kendaraan (kg)

a = Perlambatan (m/s)
 Sehingga gaya pengereman sebesar:
 $F = 835 \times 2,5$
 $= 2087,5 \text{ N}$

Torsi roda

$$T = F \cdot R_{\text{roda}} \quad (6)$$

Keterangan:

- T = Torsi roda (Nm)
- F = Gaya pengereman (N)
- R_{roda} = Jari-jari roda (m)

Sehingga Torsinya adalah:

$$T = 2087,5 \times 0,33$$

$$= 688,87 \text{ Nm}$$

Tekanan Pad

$$P_a = \frac{T}{(\theta_2 - \theta_1) \left(\frac{\pi}{180} \right) \mu r_i (r_o^2 - r_i^2)} \quad (7)$$

Keterangan:

- P_a = Tekanan pad (N/cm²)
- T = Torsi roda (Nm)
- μ = Koefisien geser
- r_i = Jarak dari pusat cakram ke tepi pad (m)
- r_o = Jarak dari pusat cakram ke ujung pad (m)
- θ₁ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya R_i
- θ₂ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya R_o

Sehingga tekanan pad sebesar:

$$P_a = \frac{688,87}{(120 - 77) \cdot \left(\frac{\pi}{180} \right) 0,35 \cdot 0,075 \cdot (0,115^2 - 0,075^2)}$$

$$= 4592466,67 \text{ N/m}^2$$

$$= 459,25 \text{ N/cm}^2$$

Gaya pada Pad

$$F = (\theta_2 - \theta_1) \left(\frac{\pi}{180} \right) P_a r_i (r_o^2 - r_i^2) \quad (8)$$

Keterangan:

- F = Gaya pada Pad (N)
 - P_a = Tekanan (N/cm²)
 - r_i = Jarak dari pusat cakram ke tepi pad (m)
 - r_o = Jarak dari pusat cakram ke ujung pad (m)
 - θ₁ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya r_i
 - θ₂ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya r_o
- Sehingga besarnya gaya pada pad adalah

$$F = (120 - 77) \left(\frac{\pi}{180} \right) 4592466,67 \cdot 0,075 (0,115^2 - 0,075^2)$$

$$= 1963,57 \text{ N}$$

Tekanan fluida oli rem

$$P_{\text{hydraulic}} = \frac{F}{A} \quad (9)$$

- F = Gaya pada pad (N)
 - P_{hydraulic} = Tekanan fluida oli rem (N/cm²)
 - A = Luas Pad (m²)
- Sehingga besarnya gaya pada pad adalah

$$P_{\text{hydraulic}} = \frac{1963,57}{0,0033}$$

$$= 595021,32 \text{ N/m}^2$$

$$= 59,50 \text{ N/cm}^2$$

Tekanan pada Solenoid

Gaya yang dihasilkan oleh solenoid

$$F_{\text{solenoid}} = \frac{\pi r^2 \left(\frac{\mu_o i n}{l} \right)^2}{2\mu_o} \left(\frac{\mu_m}{\mu_o} - 1 \right) \quad (10)$$

Keterangan:

- F_{solenoid} = Gaya pada Solenoid (N)
- r = Jari-jari Solenoid (cm)
- μ_m = Permeabilitas logam
- μ_o = Permeabilitas udara
- i = Arus (A)
- l = Panjang solenoid (m)
- θ₁ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya r_i
- θ₂ = Sudut antara garis normal terhadap garis maya r_o
- n = Jumlah lilitan

Sehingga besarnya gaya pada solenoid adalah

$$F_{\text{solenoid}} = \frac{\pi r^2 \left(\frac{\mu_o i n}{l} \right)^2}{2\mu_o} \left(\frac{\mu_m}{\mu_o} - 1 \right)$$

$$= \frac{3,14 \cdot 0,013^2 \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,35 \cdot 907}{0,03} \right)^2}{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} - 1 \right)$$

$$= 372,95 \text{ N}$$

Luas solenoid

$$A = \pi \times r^2 \quad (11)$$

Keterangan:

- A = Luas solenoid (m²)
 - r = Jari-jari solenoid (m)
- Sehingga luas solenoid adalah

$$A = 3,14 \times 0,012^2$$

$$= 4,52 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Tekanan yang dihasilkan oleh solenoid

$$P = \frac{F}{A} \quad (12)$$

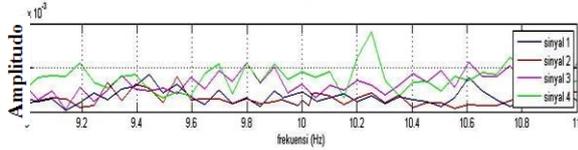
Keterangan:

- F = Gaya pada Pad (N)
- P_{solenoid} = Tekanan Pad (N/m²)
- A = Luas solenoid (m²)

Sehingga luas solenoid adalah

$$P_{\text{solenoid}} = \frac{372,95}{4,52 \times 10^{-4}} = 825110,62 \text{ N/m}^2 = 82,51 \text{ N/cm}^2 [3]$$

Data hasil pengukuran sistem pengereman dengan menggunakan *Slam Stick* sebagai berikut:



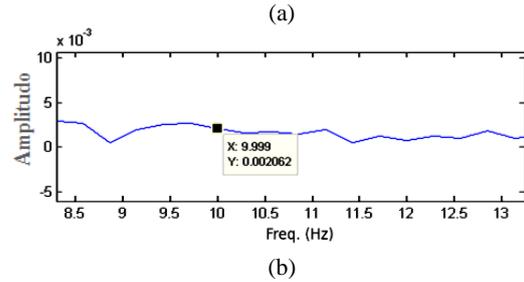
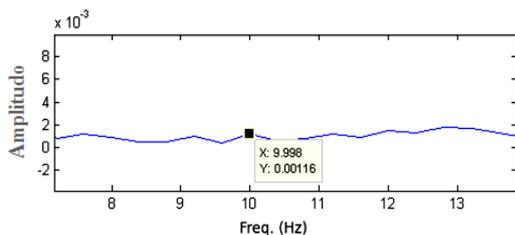
Gambar 7. Sinyal domain frekuensi saat pengereman

Pada gambar 7 adalah sinyal domain frekuensi pada sistem pengereman dengan penambahan komponen vibrator solenoid variasi kecepatan putaran piringan rem 425, 637, 850, 1062 rpm pada frekuensi 10 Hz. Data tersebut diambil pada kondisi saat pengereman.

Tabel 1. Amplitudo getaran saat proses pengereman

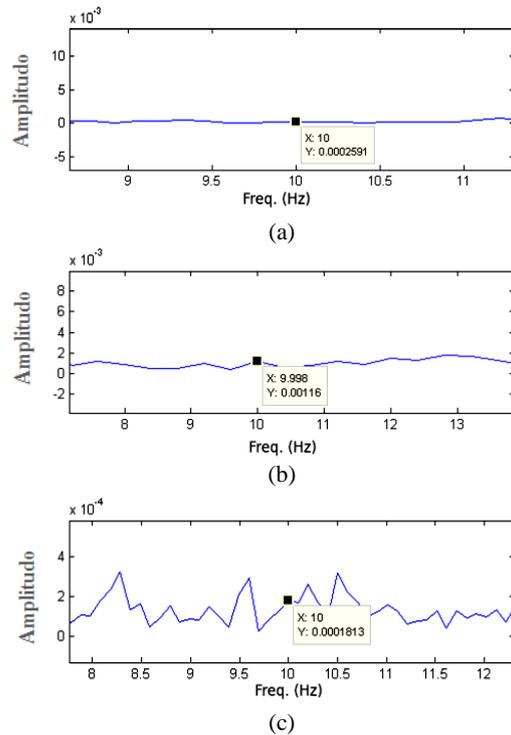
RPM	Amplitudo (m/s ²)
425	0,0012
637	0,0016
850	0,0019
1062	0,0025

Tabel 1 adalah tabel hubungan variasi putaran piringan rem dengan amplitudo dengan menggunakan penambahan komponen vibrator solenoid pada frekuensi 10 Hz. Pada putaran 425 rpm hingga 1062 rpm dapat diketahui bahwa saat proses pengereman dengan menggunakan penambahan komponen vibrator solenoid terjadi peningkatan nilai amplitudo getarannya dari 0.0012 m/s² sampai 0.0024 m/s². Semakin meningkatnya kecepatan putaran piringan rem maka akan meningkatkan gaya eksitasi yang menyebabkan nilai amplitudo getaran meningkat. Pernyataan ini berdasarkan pada gambar 4.12 yang merupakan grafik hubungan antara kecepatan putaran piringan terhadap amplitudo getaran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh yang menyatakan bahwa amplitudo getaran meningkat seiring meningkatnya kecepatan putaran piringan rem (*disc*).[6]



Gambar 8 Sinyal domain frekuensi saat pengereman (a) dengan penambahan komponen vibrator solenoid (b) tanpa penambahan komponen vibrator solenoid pada frekuensi 10 Hz

Gambar 8 adalah sinyal domain frekuensi saat pengereman (a) dengan penambahan komponen vibrator solenoid (b) tanpa penambahan komponen vibrator solenoid pada frekuensi 10 Hz. Dari gambar 8 terlihat bahwa sinyal domain frekuensi dengan penambahan komponen vibrator solenoid mempunyai puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz, sedangkan sinyal domain frekuensi saat pengereman tanpa penambahan komponen vibrator solenoid tidak terdapat puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz. Adanya puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz menunjukkan bahwa sistem pengereman ABS bekerja sesuai dengan setting sistem pengereman ABS yang memberikan sinyal 10 Hz. Hal tersebut terlihat pada gambar 8.



Gambar 9. Sinyal domain frekuensi (a) sebelum, (b) saat, (c) sesudah pengereman sistem pengereman pada kecepatan 425 rpm[4]

Pada gambar 9 adalah sinyal domain frekuensi pada sistem pengereman dengan penambahan komponen

vibrator solenoid pada sistem pengereman variasi kecepatan putaran piringan rem 425 rpm pada frekuensi 10 Hz. Data tersebut diambil pada kondisi sebelum, saat, dan sesudah pengereman.

Tabel 2. Amplitudo getaran pada berbagai kondisi pengereman

Amplitudo pada frekuensi 10 Hz			
RPM	Kondisi Pengereman		
	Sebelum	Saat	Sesudah
425	0.00026	0.0012	0.00018
675	0.00058	0.0016	0.00024
850	0.00060	0.0019	0.00040
1062	0.00087	0.0025	0.00019

Pada tabel 2 adalah tabel hubungan variasi kecepatan putaran piringan rem dengan penambahan komponen vibrator solenoid pada frekuensi 10 Hz terhadap kondisi pengereman. Kondisi sebelum pengereman memiliki amplitudo 0.0005 m/s^2 , saat pengereman memiliki amplitudo 0.0012 m/s^2 , dan setelah pengereman memiliki amplitudo 0.0002 m/s^2 pada variasi kecepatan 425 rpm. Nilai amplitudo mengalami kenaikan dari kondisi sebelum pengereman ke kondisi saat pengereman, kemudian kembali turun pada kondisi setelah pengereman. Pada kondisi sebelum dan setelah pengereman tidak terdapat puncak yang menunjukkan bahwa pada frekuensi 10 Hz tidak ada komponen yang bergetar pada frekuensi tersebut, sedangkan pada kondisi saat pengereman menunjukkan puncak pada frekuensi 10 Hz yang menunjukkan frekuensi kerja dari vibrator solenoid.

Nilai amplitudo sebelum pengereman dari kecepatan 425 hingga 1062 rpm pada frekuensi 10 Hz naik turun. Hal tersebut karena pada kondisi sebelum pengereman di frekuensi 10 Hz tidak terdapat puncaknya. Hal yang sama juga terjadi pada kondisi setelah pengereman, nilai amplitudo dari kecepatan 425 hingga 1062 rpm pada frekuensi 10 Hz. Pada kondisi saat pengereman nilai amplitudo mengalami kenaikan seiring kenaikan kecepatan putaran.

4. Kesimpulan

Dari analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Solenoid yang dirancang dengan jumlah lilitan 907 dan jari-jari solenoid 1.3 cm menghasilkan tekanan $82,51 \text{ N/cm}^2$. Tekanan solenoid lebih besar dari tekanan rem yaitu $59,50 \text{ N/cm}^2$.

Nilai amplitudo dari kecepatan 425 hingga 1062 rpm pada frekuensi 10 Hz pada kondisi saat pengereman mengalami kenaikan seiring kenaikan kecepatan putaran.

Sinyal domain frekuensi dengan penambahan komponen vibrator solenoid mempunyai puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz, sedangkan sinyal

domain frekuensi saat pengereman tanpa penambahan komponen vibrator solenoid tidak terdapat puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz. Adanya puncak-puncak pada frekuensi 10 Hz menunjukkan bahwa sistem pengereman ABS bekerja sesuai dengan setting sistem pengereman ABS yang memberikan sinyal 10 Hz.

Nilai amplitudo mengalami kenaikan dari kondisi sebelum pengereman ke kondisi saat pengereman, kemudian kembali turun pada kondisi setelah pengereman. Pada kondisi sebelum dan setelah pengereman tidak terdapat puncak yang menunjukkan bahwa pada frekuensi 10 Hz tidak ada komponen yang bergetar pada frekuensi tersebut, sedangkan pada kondisi saat pengereman menunjukkan puncak pada frekuensi 10 Hz yang menunjukkan frekuensi kerja dari vibrator solenoid.

Daftar Pustaka

- [1] (2011). Anti-Lock Braking System (ABS) and Anti-Slip Regulation (ASR) 2nd Edition. WABCO.
- [2] Bhatt, P. P., Chaudhari, K. A., Chaudhary, K. A., Goyal, S. S., & Pandey, A. B. (2014). *Programming for Automatic over speed Control System for Safety in Automobiles*. Gujarat: International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME).
- [3] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanics Engineering Design Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- [4] Elhafid, M. M., Susilo, D. D., & Widodo, P. J. (2014). Pengaruh Bahan rem Terhadap Respon Getaran Pada Sistem Rem Cakram. Mekanika.
- [5] Erwin. R.D., 1975, *Mobile Measurement of Truck Tire Traction*, Proceeding of a Symposium on Commercial Vehicle Braking and Handling, Highway Safety Research Institute, University of Michigan, MI.
- [6] Giannini, O. (2006). Experimental analysis of brake squeal noise on a laboratory brake setup. Elsevier.
- [7] Wibowo. (2011). *The Elastic Vibration Behaviour of Steel Spring for Mechanism of Antilock Brake System (ABS) on Vehicle*. Solo-Indonesia: International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM 2011).