

Studi Experimen dan Teoritik Sistem Pengereman Tanpa Skid

Joni Dewanto

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Marta Sanjaya

Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Ketika terjadi skid maka roda tidak dapat berfungsi sebagai elemen pengatur arah gerak kendaraan bahkan justru menurunkan gaya pengeremannya. Para ahli otomotif telah merancang sistem rem yang tidak menyebabkan roda mengalami skid. Pengereman dilakukan dengan gaya yang besarnya mendekati gaya gesek statik maksimumnya dan berdenyut (periodik) dengan frekuensi tertentu.

Karakteristik dari sistem rem tersebut akan dijelaskan dalam tulisan ini melalui studi experimen dan teoritik pada model kendaraan uji. Model diluncurkan dari suatu ketinggian tertentu kemudian dilakukan pengereman secara otomatis dengan beberapa mode pengereman.

Pengereman dengan gaya kontinu dapat menyebabkan roda skid dan tidak menghasilkan efek pengereman yang maksimal. Sebaliknya model pengereman dengan gaya yang berdenyut dapat menghindari terjadinya skid tetapi perlu mengatur besarnya gaya dan frekuensinya untuk mendapatkan efek pengereman yang maksimal.

Kata kunci: *skid, anti-lock braking system.*

Abstract

When skid happened the wheel can't be used as control element of vehicle direction instead of decreasing the braking force. Anti skid braking sistem have been design by expert of automotive. Braking is done by mean of periodic braking force that closed to the maximum static force at certain frequency.

Characteristic of this system is discribed at this paper by mean of experimen and teoritical study on testing vehicle's model. Model is rolling down from certain elevation and than to be braked with some braking mode automatically.

Continue braking force can make the wheel skid and did not produce maximum effect of braking. Braking mode with periodically braking force vice versa can avoid skid but need to control the force and their ferquency to produce maximum effect of braking.

Keywords: *skid, anti-lock braking system.*

1. Pendahuluan

Ketika suatu kendaraan sedang melaju dan kemudian pedal rem ditekan kuat maka roda-roda kendaraan tersebut akan terkunci (*skid*). Ketika itu roda tidak lagi dapat berfungsi sebagai elemen pengatur arah kendaraan. Untuk menghindari hal tersebut para ahli otomotif telah mencoba merancang sistem pengereman roda depan yang tidak *skid* akan tetapi tetap dapat memberikan efek pengereman yang baik.

Ketika roda di rem dan roda tidak *skid* maka terjadi gaya gesek kinetik antara kampas rem

dengan bidang geseknya dan menimbulkan gaya reaksi yang sebanding dari jalan terhadap roda yang menghambat laju kendaraan. Gaya reaksi semakin besar ketika gaya pada kampas rem juga semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Batas maksimum besarnya gaya reaksi tersebut ditentukan dengan rumus $F = \mu_s \cdot N$, dimana μ_s dan N masing-masing adalah koefisien gesek statis dan gaya normal yang bekerja pada roda. Jika roda *skid* maka pengeremen terjadi karena gaya gesek kinetik antara jalan dengan ban. Pengereman ini tidak maksimal karena besarnya gaya gesek kinetik lebih kecil dari gaya gesek statik maksimal. Pengereman akan maksimal jika dilakukan dengan gaya yang mendekati harga gaya gesek maksimal yaitu ketika roda tepat pada keadaan akan *skid*. Selain memberikan efek pengereman

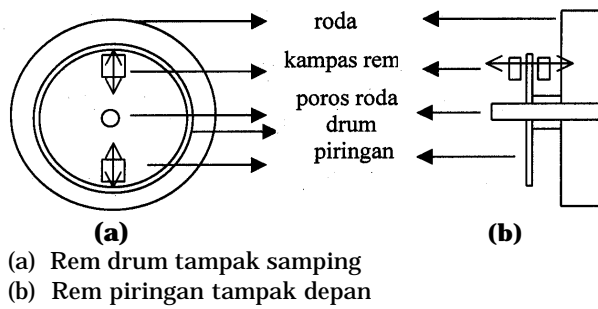
Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 2 Oktober 2001.

yang maksimal pada kondisi ini kendaraan juga tetap dapat dikendalikan karena roda masih dapat berputar.

Tulisan ini menjelaskan karakteristik dari sistem pengereman di atas dengan suatu studi teoritik dan eksperimen terhadap sebuah model kendaraan. Kondisi pengereman maksimal tanpa skid dapat dicapai dengan memberi gaya pengereman periodik pada frekuensi yang sesuai. Frekuensi yang tinggi dapat mengakibatkan tidak tercapainya gaya maksimum dan menyebabkan kondisi pengereman yang hampir sama dengan kondisi pengereman dengan gaya yang kontinu. Bila hal ini terjadi pada gaya pengereman yang besar maka roda akan skid juga.

2. Konstruksi dan Cara Kerja Rem Kendaraan

Rem dari roda suatu kendaraan dibedakan menjadi dua jenis yaitu tipe drum dan tipe piringan. Secara global komponen utama, susunan dan prinsip kerja dari kedua tipe tersebut dapat dijelaskan dengan gambar 1. Gambar 1 (a) adalah tipe rem drum tampak dari samping. Rem ini terdiri dari sepasang kampas rem yang terletak pada piringan yang tetap (tidak ikut berputar bersama roda), dan drum yang berputar bersama roda. Dalam operasinya setiap kampas rem akan bergerak radial menekan drum sehingga terjadi gesekan antara drum dan kampas rem. Tipe rem piringan terdiri dari piringan yang berputar bersama roda dan sepasang kampas rem pada posisi radial terhadap piringan. Tampak depan dari jenis rem ini ditunjukkan pada gambar 1 (b). Untuk melakukan pengereman kedua kampas rem bergerak aksial terhadap sumbu roda menjepit piringan sehingga terjadi gaya gesek antara kampas rem dengan piringan. Ketika dilakukan pengereman pada tipe rem drum akan terjadi kopel yang melawan gerakan roda yang besarnya sama dengan gaya gesek antara kampas rem dengan drum dikalikan dengan diagonal posisi kedua kampas rem. Sebaliknya pada tipe rem piringan akan terjadi kopel yang besarnya sama dengan gaya gesek pada kampas rem dikalikan dengan jarak radial antara pusat kampas rem terhadap sumbu poros. Karena adanya kopel ini maka jalan akan memberikan gaya reaksi yang terjadi di titik kontak antara roda dengan jalan yang arahnya melawan arah gerak roda.



Gambar. 1 Konstruksi Utama Rem

3. Prinsip Dasar Pengereman

3.1 Pengereman dengan Roda Terkunci

Untuk analisa, rem yang digunakan di sini adalah tipe rem piringan dan gaya tekan kampas rem terhadap bidang rem dianggap terjadi pada satu titik. Roda akan terkunci jika gaya gesek (F) pada kampas rem lebih besar dari gaya gesek statis antara jalan dengan ban. Pada kondisi ini maka gaya pengereman yang terjadi adalah gaya gesek kinetik (f_k) antara permukaan jalan dan roda. Jika roda dianggap seketika terkunci ketika dilakukan pengereman dan kecepatan awal dan massa kendaraan masing-masing adalah V_i dan m , maka dengan prinsip kerja dan energi besarnya jarak pengereman (x) dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

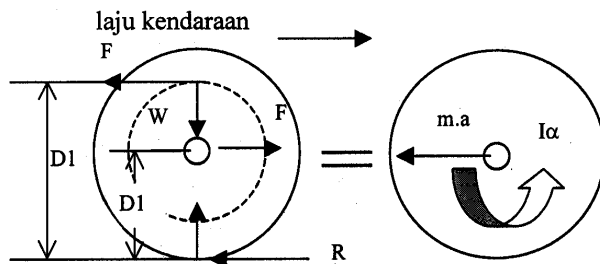
$$x = \frac{1}{2} m v_i^2 / f_k \tag{1}$$

Sedang besarnya perlambatan (a) yang terjadi dapat diturunkan dari hukum Newton II dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut dimana g adalah percepatan gravitasi.

$$a = \mu_k g \tag{2}$$

3.2 Pengereman dengan Roda Tidak Skid

Analisa gaya yang bekerja pada roda ketika terjadi pengereman dengan roda tidak skid ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram gaya roda

R adalah gaya reaksi jalan terhadap roda ketika dilakukan pengereman. R berubah mengikuti besarnya gaya pengereman (F) dan pada kondisi tidak skid R belum mencapai besarnya gaya gesek statis. Dengan menggunakan prinsip hukum Newton dan dari diagram gaya di atas dapat diturunkan dua persamaan sebagai berikut.

$$F - F + R = m.a \tag{3}$$

$$F(D_2 - D_1) = I\alpha + m.a.D_1 \tag{4}$$

Dimana I dan α masing-masing adalah momen inersia massa dan percepatan sudut roda. Pada keadaan roda menggelinding berlaku hubungan bahwa $a = D_1\alpha$. sehingga besarnya perlambatan yang terjadi dari dapat diperoleh dari persamaan 4.

Besarnya efek pengereman juga dapat diturunkan dari prinsip usaha dan energi. Usaha dari gaya gesek makin besar dengan makin besarnya gaya gesek yang diberikan sehingga jarak pengereman dapat semakin pendek. Jarak pengereman terdekat dicapai bila gaya pengereman yang terjadi adalah maksimum yaitu ketika R tepat mendekati harga gaya gesek statisnya. Bila gaya pengereman dinaikkan maka roda akan skid dan gaya pengereman yang bekerja berubah menjadi gaya gesek kinetik sehingga tidak lagi dapat memberikan efek pengereman yang maksimum. Sebaliknya bila gaya pengereman diturunkan maka efek pengeremannya juga akan berkurang.

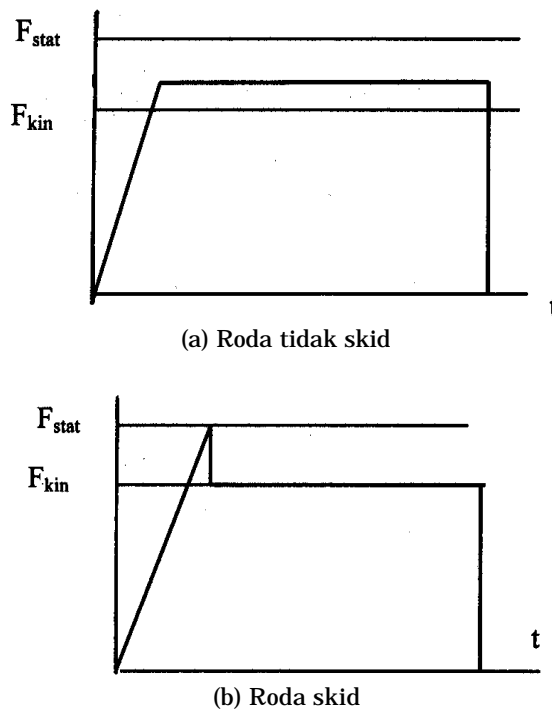
Secara operasional maksimalisasi pengereman dilakukan dengan cara memberikan gaya pengereman yang berdenyut. Ketika besarnya gaya pengereman telah mencapai harga maksimum dan roda mulai skid maka besarnya gaya tersebut harus diturunkan dan kemudian dinaikkan lagi ketika roda sudah tidak skid.

4. Usaha Pengereman

Usaha pengereman pada kendaraan yang melaju dari kecepatan V_1 menjadi berhenti ($V_2 = 0$) sama dengan perubahan energi kinetiknya. Jika perubahan energi kinetik dari bagian-bagian berputar dari kendaraan di abaikan maka besarnya perubahan energi kinetik tersebut dapat disederhanakan menjadi $E = \frac{1}{2} m V_1^2$ dimana m adalah massa kendaraan.

Untuk sistem pengereman dengan gaya yang kontinyu, sebagai fungsi waktu besarnya gaya tersebut diberikan meningkat mulai dari nol, makin membesar dan atau kemudian dijaga

konstan pada nilai tertentu. Pada kondisi *panic braking* waktu tersebut dapat sangat singkat hingga kurang dari 0.1 detik. Perubahan gaya pengereman sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada gambar 3. Jika sumbu waktu dari diagram pada gambar 3 diganti dengan sumbu litanan gaya maka luasan di bawah kurva gaya pada diagram tersebut menunjukkan besarnya usaha dari gaya gesek yang dilakukan selama waktu pengereman.

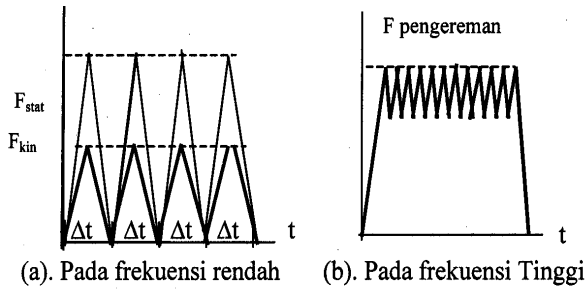


Gambar 3. Diagram Usaha Gaya Pengereman

Pada gambar 3 (a) gaya pengereman tidak dilakukan hingga melewati besarnya gaya gesek maksimum sehingga roda tetap akan menggelinding. Sedang pada gambar 3 (b) pengereman dilakukan hingga melewati besarnya gaya gesek maksimum. Roda kemudian akan skid terhadap jalan sehingga selanjutnya gaya pengereman yang terjadi adalah gaya gesek kinetik antara ban dengan jalan.

Jika gaya pengereman diberikan secara periodik tetapi dengan frekuensi yang rendah sebagaimana gambar 4(a), maka usaha total dari gaya pengereman menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan usaha dari gaya pengereman yang diberikan secara konstan. Usaha total dapat dinaikkan dengan meningkatkan besarnya gaya yang diberikan yaitu sampai F maksimum. Gambar 4b. menunjukkan diagram gaya fungsi waktu t ketika gaya pengereman diberikan secara periodik dengan frekuensi yang lebih tinggi. Gaya yang diberi-

kan pada setiap periode menjadi impuls gaya yang berulang dan besarnya tidak dimulai nol.



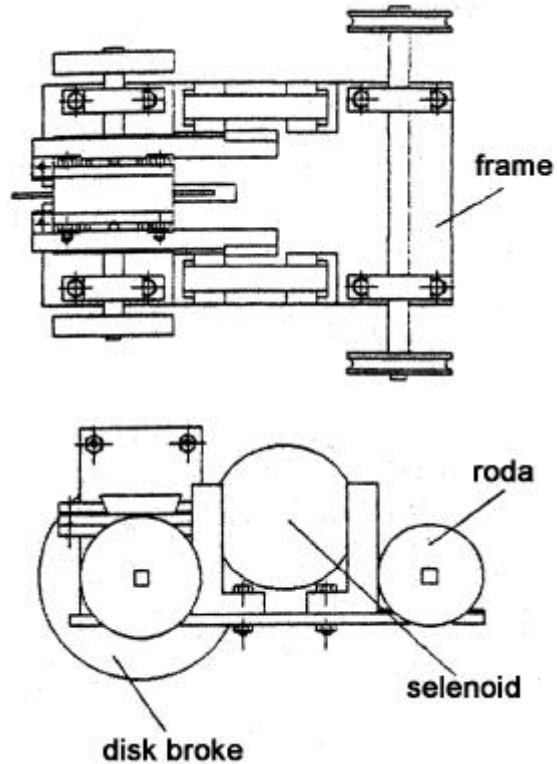
Gambar 4. Diagram Impuls Gaya Pengereman

Gambar 4b. menunjukkan diagram gaya fungsi waktu t ketika gaya pengereman diberikan secara periodik dengan frekuensi yang lebih tinggi. Gaya yang diberikan pada setiap periode menjadi impuls gaya yang berulang dan besarnya tidak dimulai nol. Untuk frekuensi yang sangat tinggi maka kurva perubahan gaya tersebut menjadi semakin halus mendekati kurva lurus. Pada model pengereman yang impulsif seperti ini berlaku prinsip bahwa besarnya impuls total selama pengereman harus sama dengan perubahan momentum selama pengereman atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum F\Delta t = m V_1 \tag{5}$$

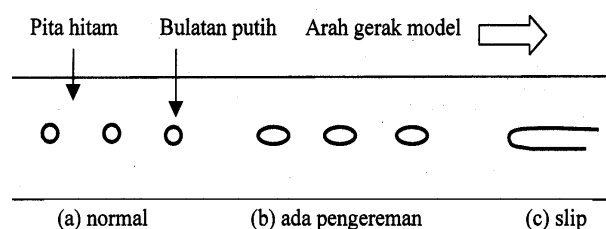
5. Persiapan Alat Uji

Model kendaraan yang digunakan dalam pengujian ini memiliki 4 roda tanpa kemudi dengan rel pengarah di kedua roda depan pada lintasannya. Rem tipe piringan tunggal dipasang pada poros roda belakang. Pengereman dilakukan oleh gaya magnet dari sebuah solenoid. Sedang besarnya gaya pengereman yang diinginkan dapat diatur dari mengubah tegangan masuk solenoid. Pengujian menunjukkan bahwa besarnya gaya yang dihasilkan solenoid ternyata sebanding dengan tegangan masukannya. Untuk itu besarnya gaya pengereman dapat dinyatakan dalam Volt. Dengan menggunakan skakelar ON-OFF dan IC 555 mode pengereman dapat dipilih secara kontinu atau periodik (berdenyut) dengan besar dan frekuensi tertentu yang berbeda. Konstruksi dan struktur rem tersebut ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Konstruksi Rem pada Model Uji

Pengujian dilakukan dengan meluncurkan model dari ketinggian tertentu pada lintasan yang menurun lurus kemudian mendarat. Pengereman dilakukan sesaat setelah model masuk kelintasan yang mendarat. Pada lintasan yang menurun dilapisi kain pembasah roda dengan tinta hitam sedang lintasan datarnya ditutup kertas putih untuk mencetak jejak roda belakang. Ban roda belakang berbentuk silindris terbuat dari karet berlubang-lubang yang jaraknya teratur disekeliling kulit silinder tersebut. Pada kondisi normal atau pengereman yang ringan roda tidak slip sehingga jejak roda akan nampak sebagai pita hitam dengan bulatan putih di tengahnya. Untuk pengereman yang makin besar bulatan putih akan berubah menjadi oval. Dan pada kondisi roda skid maka bulatan putih tersebut menjadi pita putih ditengah pita hitam. Ilustrasi jejak roda tersebut ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Jejak roda belakang

Waktu pengereman dilakukan secara otomatis oleh model sendiri dengan cara menabrak batang skakelar pengaktif rem. Selanjutnya jarak pengereman dapat diukur dari posisi skakelar hingga model berhenti. Rangkaian pengolah sinyal listrik untuk memilih jenis pengereman berdenyut atau tetap, besarnya gaya yang digunakan ataupun mengatur frekuensi pengereman dan lain sebagainya diletakan pada suatu kotak di luar model.

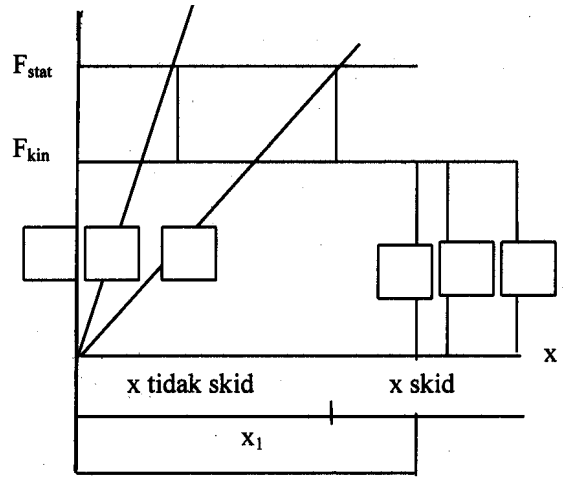
6. Pengujian

Pengujian dilakukan dari ketinggian luncur yang tetap akan tetapi dengan mode pengereman yang berbeda. Mode pengereman pertama dilakukan dengan gaya yang kontinyu sedang mode kedua dilakukan dengan gaya yang periodik (berdenyut). Hasil pengukuran dari percobaan yang dilakukan terlampir pada tabel I hingga tabel IV.

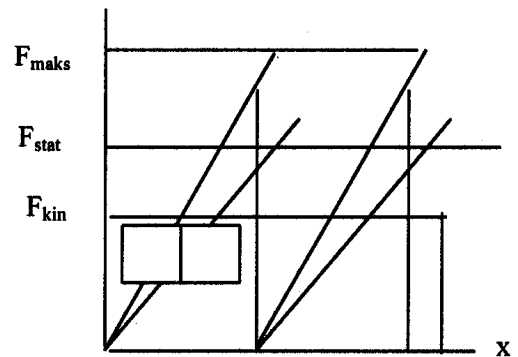
Diagram pada gambar 7 menjelaskan fenomena yang terjadi pada data tabel I. Jika gaya pengereman terjadi secara spontan dan besarnya melebihi besarnya gaya gesek statis maksimum maka model akan berhenti pada jarak x_1 sebagaimana kurva 1. Luasan dibawah kurva ini merupakan besarnya energi kinetik yang harus diubah menjadi usaha gaya gesek pada saat pengereman. Besarnya luasan ini tetap untuk setiap mode pengereman. Kurva 2 terjadi jika gaya pengereman tidak terjadi secara spontan akan tetapi besarnya melampaui besarnya gaya gesek statis maksimumnya sehingga roda skid tetapi tidak terjadi seketika. Total jarak pengeremannya adalah jarak pengereman roda tidak skid ditambah jarak pengereman roda skid. Dengan tegangan masukkan ke solenoid yang makin kecil maka gaya maksimum dicapai dalam waktu yang lebih lambat, tergambar dengan slop kurva gaya yang makin landai. Pada kondisi ini waktu roda dalam keadaan tidak skid lebih lama sehingga total jarak pengereman menjadi makin jauh.

Pada gambar 7(b) kurva 1 untuk mode pengereman dengan gaya berdenyut model tidak skid ketika tegangan masukkan pada solenoid telah terputus sebelum gaya maksimumnya tercapai. Pada tegangan masukkan yang makin besar maka gaya pengereman maksimum juga semakin cepat dicapai. Pada kurva 2 model skid ketika gaya pengeremannya di tingkatkan sehingga batas gaya gesek maksimumnya dapat terlampaui sebelum periodenya berakhir.

Mekanisme rem dari model di sini tidak ada pegas yang mengembalikan kampas rem sehingga pada frekuensi tinggi penurunan gaya pengereman bisa terjadi tidak sampai nol. Dengan demikian pada frekuensi tinggi total usaha gaya gesek yang dilakukan dapat lebih besar meskipun gaya pengereman yang terjadi lebih rendah. Fenomena ini ditunjukkan pada gambar 8. Untuk tegangan masukkan yang sama model berhenti pada jarak yang lebih pendek jika frekuensi denyut dari gaya pengeremannya yang terjadi lebih tinggi.

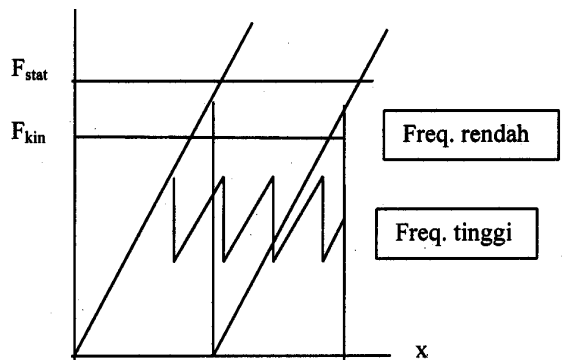


(a) Gaya kontinyu



(b) Gaya berdenyut

Gambar 7. Diagram Pengereman



Gambar 8. Usaha Gaya Gesek pada Frekuensi yang Berbeda

Dari pengujian dengan gaya kontinyu tampak bahwa sebenarnya model sudah akan skid ketika diberi tegangan masukan 4 Volt. Pada pengujian dengan gaya berdenyut model belum skid meskipun tegangan masukan yang diberikan sudah 8 Volt karena frekuensi tinggi menyebabkan tidak tercapainya tegangan maksimum. Akan tetapi dari tabel II,III dan IV menunjukkan bahwa pada frekuensi yang makin tinggi skid cenderung terjadi pada tegangan yang makin kecil. Di sini kondisi gaya yang bekerja telah mencapai batas maksimumnya sementara karena frekuensinya cukup tinggi maka piringan rem hampir tidak pernah lepas dari gaya pengereman tersebut sehingga roda akan skid. Pada frekuensi yang lebih rendah piringan rem masih memiliki waktu sebentar terlepas dari gaya pengereman dan pada kondisi ini roda tidak skid.

7. Kesimpulan

1. Jarak pengereman pada sistem pengereman dengan gaya periodik sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya dan frekuensi pengereman yang dilakukan.
2. Pada kondisi tidak skid jarak pengereman makin pendek jika gaya dan atau frekuensi pengereman makin besar.
3. Pada mode pengereman dengan gaya berdenyut tingginya frekuensi dapat menurunkan gaya efektif maksimum yang dapat dicapai. Di sisi lain tingginya frekuensi juga dapat menyebabkan besarnya usaha gaya gesek yang dapat memperpendek jarak pengereman.
4. Jarak pengereman periodik tanpa skid dapat lebih pendek dari jarak pengereman kontinyu dengan skid jika besarnya gaya pengereman diantara besarnya gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

Daftar Pustaka

1. Josef Mack. *ABS-TCS-VDC Where Will the Technology Lead Us*. Society of Automotive Engineering, Inc.USA,1996.
2. Sethi H.M, *Automotive Technology*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi, 1991.
3. Herbert E. Elinger, *Automotive Suspension and Steering*, Prentice Hall, New Jersey1989.

4. Ferdinand P Beer, E Russell Johnston Jr, *Mechanics for Engineers, Dynamics*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1987
5. J.Y.Wong, Ph.D. *Theory of Graound Vehicles*. Jhon Wiley and Sons, New York, 1978.

Lampiran

Tabel 1. Engujian dengan Gaya Kontinu

	Tegangan		
	4 V	6 V	8 V
Jarak pengereman	29.6	25.4	24.2
Total (cm)	29.6	26.4	25.7
	30	25	24.6
Keterangan	Skid	skid	Skid
Rata-rata	29.73	25.6	24.83
Jarak	21.5	4.4	3.5
Tidak	14.6	3	3.2
Skid (cm)	13.6	5.8	3

Tabel 2. Pengujian dengan Gaya Berdenyut pada Frekuensi 50 Hz

	Tegangan					
	8 Volt	9 Volt	10 Volt	11 Volt	11.5 Volt	12 Volt
Jarak pengereman	41	33.3	32	29.4	29	27.8
Total (cm)	42	33.2	33.6	28.5	29.4	28.6
	41	33.6	33.4	29.9	30.4	30
Keterangan						skid
Rata-rata	41.3	33.37	33	29.27	29.6	28.8

Tabel 2. Pengujian dengan Gaya Berdenyut pada Frekuensi 50 Hz

	Tegangan					
	8 Volt	9 Volt	10 Volt	11 Volt	11.5 Volt	12 Volt
Jarak pengereman	41	33.3	32	29.4	29	27.8
Total (cm)	42	33.2	33.6	28.5	29.4	28.6
	41	33.6	33.4	29.9	30.4	30
Keterangan						skid
Rata-rata	41.3	33.37	33	29.27	29.6	28.8

Tabel 3. Pengujian dengan Gaya Berdenyut pada Frekuensi 75 Hz

	Tegangan					
	8 Volt	9 Volt	10 Volt	11 Volt	11.5 Volt	12 Volt
Jarak pengereman	47.6	33	29.9	29.8	28.1	28
Total (cm)	49.2	34.2	29.2	29.5	27.2	27.6
	49.8	33.6	30.5	28.7	27.7	28.8
Keterangan					kritis	Skid
Rata-rata	48.87	33.6	29.87	29.33	27.67	28.13

Tabel 4. Pengujian dengan Gaya Berdenyut pada Frekuensi 100 Hz

	Tegangan					
	8 Volt	9 Volt	10 Volt	11 Volt	11.5 Volt	12 Volt
Jarak pengereman	46	31.5	27.4	29.2	26.7	28
Total (cm)	47.2	30	28.8	30	27.2	28.6
	47.2	29.1	28.5	30.1	27.6	28.5
Keterangan				Skid	Skid	Skid
Rata-rata	46.8	30.2	28.23	29.76	27.17	28.37