

ANALISIS KINERJA SISTEM Pengereman pada MOBIL HEMAT ENERGI BONO KAMPAR

Denis Meitryano^[1], Syafri^[2], Kaspul Anuar^[3]

Laboratorium Hidraulik dan Pneumatik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya km.12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

^[1]meitryano.denis@yahoo.com, ^[2]Prie_00m022@gmail.com, ^[3]kaspul_anuar_2@yahoo.com

Abstract

In designing a car that is comfortable and safe when driving, there are some things to watch out for, namely the steering system, brakes, and suspension. In this study, the authors will analyze about the braking system on the car Bono Kampar. The research of the braking system begins by searching for the specification data from Bono Kampar's car. After the data of Bono Kampar's car specification was obtained, then calculations were done to find the car's center of gravity, measure the dimensions of the braking system, calculate the braking distance, calculate the braking torque force, calculate the actual or theoretical braking proportions, calculate the vertical force, and analyze the theoretical stability or actual. From this study it can be concluded that the direction of behavior on Bono Kampar car is understeer according to the method theoretical and actual.

Keyword :car, brake system, proportion of braking, stability of car direction.

1. Pendahuluan

Kelangkaan bahan bakar fosil merupakan salah satu salah satu topik yang menjadi sorotan berbagai negara di dunia. Bahan bakar fosil merupakan salah satu sumber energi yang paling banyak digunakan oleh industri maupun perorangan. Ketimpangan antara jumlah produksi dan jumlah permintaan masyarakat dunia akan bahan bakar fosil mengakibatkan bahan bakar ini diperkirakan akan semakin habis persediaannya [1].

Dalam upaya penghematan penggunaan energi bahan bakar fosil, Dirjen Belmawa Ristekdikti membuat suatu kompetisi yang bernama Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). Kompetisi ini menjadi ajang bagi para mahasiswa se-Indonesia dalam mengembangkan mobil yang hemat energi. Kompetisi ini diselenggarakan dengan melombakan berbagai kategori mobil hemat energi baik yang menggunakan bahan bakar fosil maupun yang menggunakan energi listrik.

Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Riau telah membentuk sebuah tim mobil hemat energi yang bernama Selembayung. Tim ini sukses berkompetisi di ajang KMHE 2017 pada kelas *urban concept*. Mobil hemat energi yang dirancang bangun oleh tim salembayung diberi nama Bono Kampar.

Dalam merancang bangun mobil hemat energi Bono Kampar, proses awal yang dilalui adalah membuat desain konsep dari mobil yang akan diproduksi. Kemudian dilanjutkan dengan proses simulasi karakteristik aerodinamik dan simulasi pembebanan statik pada desain *chassis* Bono Kampar. Terakhir dilakukan proses produksi dan pengujian serta analisis terhadap sistem dan kinerja yang terdapat pada mobil hemat energi Bono Kampar.

Salah satu sistem yang penting untuk dianalisis pada mobil hemat energi Bono Kampar adalah sistem pengereman. Pengereman sangat berperan penting dalam hal keselamatan. Saat ini kecelakaan semakin hari semakin meningkat dan semakin banyak, sehingga keselamatan menjadi prioritas. Pengereman yang tidak benar juga merupakan salah satu masalah untuk kecelakaan [2].

Pada dasarnya besar gaya rem ideal yang dibutuhkan setiap mobil adalah berbeda. Begitu juga distribusi ideal gaya rem pada setiap roda untuk setiap mobil berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kondisi jalan, koefisien gesek ban dan jalan dan distribusi berat mobil di roda depan dan belakang. Pemberian gaya rem yang terlalu kecil akan menyebabkan mobil tidak dapat berhenti dengan cepat sehingga jarak pengereman mobil menjadi besar. Sebaliknya pemberian gaya rem yang terlalu besar/tidak proporsional akan menyebabkan terjadinya "*lock*" saat mobil masih melaju di atas jalan. Apabila hal tersebut terjadi maka akan mempengaruhi kestabilan arah mobil saat melaju, baik pada jalan lurus maupun pada saat berbelok.

Pada penelitian ini penulis berencana melakukan penelitian terkait analisis kinerja sistem pengereman pada mobil hemat energi Bono Kampar yang menggunakan sistem pengereman *disc brake*. Mengacu pada penelitian Fitriawan M Ashadi (2012) dalam penelitiannya mengenai analisis *steering linkage* pada INKA GEA dan stabilitas dengan variabel kecepatan, sudut belok terhadap beban muatan dan posisi muatan di ITS Surabaya [3].

Kinerja sistem pengereman yang akan dianalisis terkait jarak pengereman minimum dan kestabilan arah mobil saat pengereman. Analisis

dilakukan pada 3 variasi kecepatan mobil yaitu 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam. Kecepatan ini dipilih karena merupakan kecepatan *real* yang mampu dihasilkan oleh mobil hemat energi Bono Kampar. Selain variasi kecepatan, analisis kestabilan arah mobil hemat energi Bono Kampar pada saat pengereman juga divariasikan pada berbagai jenis jalan, baik jalan aspal maupun jalan beton.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui kestabilan arah mobil saat pengereman.
- 2) Untuk mengetahui jarak pengereman minimum pada mobil.
- 3) Untuk mengetahui distribusi pengereman aktual (kemampuan sistem) dan teoritis (kebutuhan sistem).

2. Metodologi

2.1 Data Spesifikasi Mobil Bono Kampar

Pada tahap ini, data spesifikasi mobil terkait berat total (mt), luas bagian depan mobil (A_f), jarak sumbu roda, dan jari – jari roda mobil (R_{roda}) akan diukur sebagai data awal yang diperlukan pada penelitian. Kemudian data terkait koefisien gesek kanvas rem dengan piringan cakram (μ), koefisien *adhési* aspal/beton (μ_s) dan massa jenis udara (ρ) didapat melalui studi referensi. Data spesifikasi mobil Bono Kampar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Spesifikasi Mobil Bono Kampar

Spesifikasi Mobil Bono Kampar	
Dimensi	
Jarak Sumbu Roda	1,54 m
Lebar	1,20 m
Tinggi	1,30 m
Berat	
Massa Total	160 kg
Massa Depan	72 kg
Massa Belakang	88 kg
Berat Total (W_t)	1569,6 N
Berat Depan (W_f)	706,32 N
Berat Belakang (W_r)	863,28 N
Berat Pengemudi (W_p)	68 kg
Aerodynamic	
Luas Frontal (A_f)	1,11 m ³
Massa Jenis Angin (ρ)	1,177 kg/m ³
Koefisien Drag (C_d)	0,24
Pengereman	
Jarak Pedal Rem ke Tumpuan	0,18 m
Jarak Push Rod ke Tumpuan	0,115 m
Diameter Dalam Master Silinder	0,013 m
Koefisien Gesek Pad Rem (μ)	0,3
Rem Model Cakram (Single Piston)	
Diameter Piston Kaliper	0,047 m
Diameter Rotor Disk	0,202 m
Ban (80-90-17)	
Dimater Roda	0,555 m
Lebar	0,073 m
Koefisien Adbesi Aspal (Kering) (μ)	0,75
Koefisien Adbesi Aspal (Basah) (μ)	0,58
Koefisien Hambatan Rolling (f_r)	0,08

2.2 Mengukur Posisi Titik Berat Kendaraan

Posisi titik berat ternyata memegang peranan penting pada mobil. Ada beberapa cara untuk mengukur posisi titik berat. Posisi titik berat mencakup titik berat terhadap poros depan (a) dan terhadap poros belakang (b), serta tinggi berat dari permukaan jalan (h).

Pengukuran (a) dan (b) dilakukan dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang mobil pada posisi horisontal. Jika pada saat menimbang poros depan didapat hasil penimbangan W_f dan penimbangan poros belakang didapat hasil W_r , maka berat total mobil didapat [3]:

$$W_t = W_f + W_r = W$$

Dengan memakai hasil penimbangan tersebut dan menerapkan konsep statika maka didapat [3]:

$$a = \frac{(a+b)W_r}{W_f + W_r}$$

$$b = \frac{(a+b)W_f}{W_f + W_r}$$

Dimana : $a + b = L$; adalah *wheel base* yaitu jarak antara poros depan dan belakang mobil.

Setelah jarak dari pusat berat terhadap poros depan (a) dan jarak pusat berat terhadap poros belakang (b) didapat, maka kemudian dapat dicari tinggi titik pusat berat dari mobil.

Untuk mencari tinggi titik pusat berat mobil, pada roda depan atau roda belakang dapat ditopang dengan timbangan dan roda yang lain didongkrak hingga membentuk sudut tertentu. Jika mungkin pada saat mendongkrak mobil roda dikunci agar bodi tidak menukik (*pitching*) terhadap posisi roda atau sudut dibuat tidak begitu besar agar bodi tidak menukik. Titik pusat mobil kemudian dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [3]:

$$h_r = \frac{[W_f \theta (a+b) - W_t \cdot b]}{W_t \tan(\theta d)}$$

2.3 Sistem Pengereman

Komponen untuk dapat mengurangi kecepatan dan untuk menghentikan kendaraan adalah sistem rem kendaraan. Ditinjau dari sumber gaya yang digunakan untuk menimbulkan gaya rem pada roda, sistem rem dapat dibedakan menjadi 2 macam. Model pertama gaya rem manual, yaitu gaya rem bersumber dari gaya injakan pedal rem. Model kedua adalah sistem *power brake* yaitu sistem rem yang gayanya bersumber dari sistem hidraulik. Sebagian besar kendaraan saat ini sudah memakai sistem *power brake* untuk memberi kemudahan bagi pengemudi. Perkembangan penelitian dibidang pengereman menemukan bahwa koefisien gesek maksimum antara roda dan jalan akan dimanfaatkan untuk pengereman kendaraan justru terjadi pada saat roda *slip* sebesar 20% dengan jalan, bukan

terjadi pada saat roda *lock*. Sehingga jika kendaraan direm hingga roda sampai *lock* maka jarak pengereman yang dihasilkan bukan jarak pengereman terpendek. Dari hasil penelitian ini dipublikasikan pada tahun tujuh puluhan, maka di tahun tersebut dikembangkan sistem rem dimana saat pada saat pengereman roda tidak sampai *lock*, sistem rem tersebut dikenal dengan nama “*Anti-lock Brake System*” (ABS) [4].

1. Pedal Rem

Pedal rem adalah komponen yang berfungsi untuk melakukan pengereman yang inputnya dilakukan oleh gerakan tekan pengemudi yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Pedal Rem

2. Master Silinder

Master silinder berfungsi meneruskan tekanan dari pedal menjadi tekanan hidrolik minyak rem untuk menggerakkan piston rem seperti dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Master Silinder

3. Saluran Pengereman

Saluran pengereman berfungsi sebagai tempat fluida kerja atau yang biasa disebut minyak rem mengalir dalam sistem pengereman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Selang Rem

4. Kaliper Rem

Kaliper rem merupakan bagian sistem rem yang tugasnya mencengkram *disc* motor atau piringan cakram yang menyatu pada sisi roda sehingga putaran roda dapat berhenti seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Kaliper Rem

5. Pad Rem

Pad rem adalah komponen yang bergesekan langsung dengan piringan cakram saat terjadinya pengereman. *Pad* rem terbuat dari bahan pasta seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pad Rem

2.4 Jarak Pengereman

Kinerja dari sistem pengereman sebuah mobil dapat dinilai dengan jarak yang di timbulkan dari pengereman. Jarak pengereman dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3].

$$S = \frac{\gamma_m \cdot W}{2g \cdot C_{ae}} \ln \left[+ \frac{C_{ae} \cdot V_1^2}{F_{bmax} + fr \cdot W \cos \theta_s + W \sin \theta_s} \right] + Td \cdot V_1$$

2.5 Analisis Perilaku Kestabilan Arah Saat Pengereman Aktual dan Teoritis

Data hasil perhitungan nilai proporsi gaya pengereman baik secara aktual dan teoritis selanjutnya akan disubstitusi pada persamaan berikut [3].

$$\left[\frac{a}{g}\right]_f = \frac{\mu \cdot b' + Kb_f \cdot L \cdot fr}{L \cdot Kb_f - \mu \cdot hr'}$$

$$\left[\frac{a}{g}\right]_r = \frac{\mu \cdot b' + Kbr \cdot L \cdot fr}{L \cdot Kbr - \mu \cdot hr'}$$

Untuk menganalisis perilaku kestabilan arah pada saat pengereman diperlukan mengetahui perlambatan roda depan dan perlambatan roda belakang. Nilai koefisien hambatan *rolling* (f_r) di ambil dari Tabel hambatan *rolling* untuk beberapa jenis ban dan kondisi jalan (studi J.J Taborek. 1957) [3].

Roda depan dan roda belakang lock apabila :
 $(a/g)_f = (a/g)_r =$ Mobil cenderung netral

Roda depan akan *lock* duluan apabila:
 $(a/g)_f > (a/g)_r =$ Mobil cenderung *understeer*

Roda belakang akan *lock* duluan apabila :
 $(a/g)_f < (a/g)_r =$ Mobil cenderung *oversteer*

2.5.1 Perilaku Netral

Pada kenyataannya setiap kendaraan belok selalu terjadi gaya sentrifugal yang cukup untuk menimbulkan sudut *slip* pada setiap ban. Jika besar rata rata sudut *slip* roda depan (α_f) sama dengan roda belakang (α_r) maka kondisi ini dinamakan kondisi kendaraan dengan perilaku belok netral. Pada kondisi ini besar radius belok (R_n) kendaraan hanya dipengaruhi oleh sudut belok roda depan, namun lintasan kendaraan dipengaruhi oleh sudut roda depan (α_f) dan sudut *slip* roda depan serta belakang (α_r) [4].

2.5.2 Perilaku Understeer

Perilaku *Understeer* adalah seperti perilaku belok netral yaitu memperhitungkan pengaruh dari sudut *slip* rata rata roda belakang (α_r) dan roda depan (α_f). Pada kondisi *understeer* sudut *slip* roda belakang (α_r) lebih kecil dari sudut *slip* roda depan (α_f). Kendaraan *understeer* adalah kendaraan yang sulit untuk berbelok sehingga memerlukan sudut belok (δ_f) yang lebih besar untuk belokan tertentu [4].

2.5.3 Perilaku Oversteer

Sama dengan perilaku *understeer*, perilaku *oversteer* menunjukkan kondisi dimana pengaruh sudut *slip* roda depan dan belakang sangat dominan terhadap gerakan belok kendaraan. Pada kendaraan yang mempunyai perilaku *oversteer* pengaruh sudut

slip mengakibatkan kendaraan sangat responsif pada waktu belok, atau dapat berbelok lebih besar dari yang diharapkan. Kendaraan *oversteer* sering lebih sulit dikendalikan oleh pengemudi normal [4].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Jarak Pengereman

Berikut hasil jarak pengereman pada mobil Bono Kampar (Kemampuan Sistem) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Jarak Pengereman pada Jalan Aspal Kering dan Aspal Basah

Kecepatan	Aspal Kering	Aspal Basah
	Jarak Pengereman	
20 km/jam	3,84 m	4,84 m
30 km/jam	7,38 m	8,81 m
40 km/jam	12,00 m	14,52 m

Hasil jarak pengereman dengan variasi kecepatan dan jenis jalan (Hasil pengujian langsung) dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Jarak Pengereman pada Jalan Aspal Kering.

Kecepatan	Percobaan					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
20 km/jam	2,31 m	2,58 m	2,40 m	2,81 m	2,12 m	2,44 m
30 km/jam	6,11 m	5,97 m	5,80 m	6,20 m	5,78 m	5,97 m
40 km/jam	10,62 m	10,90 m	10,45 m	10,21 m	10,66 m	10,56 m

Tabel 4 Hasil Jarak pengereman pada jalan aspal basah.

Kecepatan	Percobaan					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
20 km/jam	3,59 m	3,21 m	3,66 m	3,51 m	3,47 m	3,48 m
30 km/jam	7,61 m	7,10 m	7,30 m	7,57 m	7,45 m	7,40 m
40 km/jam	12,3 m	12,21 m	11,96 m	12,15 m	12,18 m	12,16 m

Dari hasil perhitungan jarak pengereman yang ada pada Tabel 2, 3, dan 4 dapat dilihat perbedaan antara jarak pengereman di jalan aspal kering dan di jalan aspal basah. Untuk jarak pengereman menurut kemampuan sistem jarak pengereman di aspal kering lebih dekat dibanding aspal basah. Hal ini dikarenakan koefisien *adhesi* aspal basah lebih rendah dibandingkan dengan koefisien *adhesi* aspal kering. Begitu juga dengan jarak pengereman hasil pengujian langsung, jarak pengereman pada aspal yang kering lebih dekat dibandingkan dengan aspal basah. Hal ini disebabkan karena pada kondisi aspal yang kering daya cengkram ban ke aspal tinggi, sebaliknya pada saat kondisi yang basah daya cengkram ban ke aspal menjadi rendah, begitu juga pada *pad* rem dan piringan cakram yang basah mengakibatkan daya cengkram kedua komponen tersebut menjadi rendah sehingga jarak pengereman yang dihasilkan pada aspal basah lebih jauh dibandingkan dengan aspal kering.

Untuk analisa perbandingan jarak pengereman menurut kemampuan sistem dengan hasil pengujian langsung terdapat selisih yang tidak begitu signifikan. Pada jarak pengereman hasil pengujian langsung dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Jarak pengereman hasil pengujian langsung lebih dekat dibandingkan dengan jarak pengereman menurut

kemampuan sistem baik pada jalan aspal yang kering maupun pada jalan aspal yang basah. Jarak pengereman hasil pengujian langsung lebih dekat dikarenakan beberapa faktor yang menjadi penyebabnya. Hal ini disebabkan oleh adanya gesekan tambahan yang terjadi karena putaran poros yang tidak *center*. Keadaan poros yang baling juga mengakibatkan timbulnya gesekan yang berlebih terhadap *bearing* yang terdapat di rangka. Kondisi *discbrake* yang baling juga menimbulkan gesekan tambahan terhadap *pad* rem sehingga memperlambat laju mobil saat berjalan walaupun bukan saat melakukan pengereman.

3.2 Analisa Perilaku Kestabilan Arah Kendaraan pada Saat Pengereman

Dari hasil perhitungan kestabilan arah saat pengereman secara dimensi dan secara teoritis diperoleh nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5 Perilaku Kestabilan Arah Kendaraan pada Saat Pengereman Secara Dimensi.

Perlambatan Roda (a/g)f (a/g)f	Dimensi			Perilaku Arah <i>Understeer</i>
	Aspal Kering 1,29	Perilaku Arah <i>Understeer</i>	Aspal Basah 0,90 0,98	
	1,42			

Tabel 6 Perilaku kestabilan arah kendaraan pada saat pengereman secara teoritis.

Perlambatan Roda (a/g)f (a/g)f	Teoritis			Perilaku Arah <i>Understeer</i>
	Aspal Kering 1,15	Perilaku Arah <i>Understeer</i>	Aspal Basah 0,81 1,13	
	1,68			

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 diatas dapat dilihat perilaku kestabilan arah kendaraan saat pengereman menurut dimensi dan teoritis. Untuk kestabilan arah saat pengereman menurut dimensi dan teoritis perilaku arah mobil Bono Kampar cenderung *understeer*. Hasil analisa perilaku yang sama antara kestabilan arah saat pengereman menurut dimensi maupun teoritis merupakan kondisi yang baik. Selain itu ada banyak faktor yang mempengaruhi perilaku arah kendaraan misalnya cara mengemudi yang salah saat masuk ke jalan yang berbelok. Pengaruh *lock* yang terjadi pada roda saat melakukan pengereman juga termasuk salah satu hal yang mempengaruhi perilaku arah kendaraan.

4. Kesimpulan

Dari hasil jarak pengereman menurut kemampuan sistem dan hasil pengujian langsung dengan variasi kecepatan dan jenis jalan aspal kering maupun aspal basah pada mobil Bono Kampar didapat hasil perhitungan yang disimpulkan sebagai berikut:

1. Jarak pengereman mobil Bono Kampar berdasarkan variasi kecepatan dengan jenis aspal kering dan aspal basah memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan, baik pengereman menurut

kemampuan sistem maupun pengereman hasil pengujian langsung.

2. Ada perbedaan respon atas tiap parameter yang digunakan terhadap hasil performansi yang ada. Hal ini dikarenakan gaya pengereman yang ada adalah berbeda-beda. Sehingga karena pada dinamika roda perlambatan sudut yang ada dipengaruhi oleh gaya gesek antara roda-jalan dan gaya pengereman yang ada, dimana besar gaya gesek adalah tetap maka nilai perlambatan sudut antara rem satu dan lainnya dipengaruhi oleh distribusi pengeremannya. Hal inilah yang menyebabkan performansi pengereman berbeda-beda.

3. Dari hasil perhitungan kinerja sistem pengereman perilaku kestabilan arah mobil Bono Kampar menunjukkan kondisi *understeer*, baik menurut kemampuan sistem maupun menurut kebutuhan sistem. *Lock* pada roda saat pengereman dipengaruhi pada posisi beban di mobil Bono Kampar. Kondisi *understeer* dan *oversteer* pada sebuah kendaraan tergantung pada *lock* roda yang terjadi pada saat pengereman seperti penjelasan yang terdapat pada teori dasar tentang perilaku kestabilan arah kendaraan.

4. Dari hasil pengukuran dimensi sistem pengereman (kemampuan sistem) diperoleh gaya pedal $k= 3,6$ cm, gaya yang keluar dari pedal $F_k= 18$ kgf, tekanan master silinder $P_e= 13,56$ kgf/cm², gaya piston yang menekan *pad* rem $F_p= 235,13$ kgf, gaya gesek pengereman $F_{bc}= 117, 56$ kgf dan torsi pengereman $T_{bc}= 9,16$ Nm.

Daftar Pustaka

- [1] PT. Kompas Cyber Media (Kompas Gramedia Digital Group).2008. Bahan Bakar Fosil Habis 30 tahun lagi. <https://sains.kompas.com/read/2011/07/27/20141288/bahan.bakar.fosil.habis.30.tahun.lagi>. HTML (Diakses 1 Maret 2018).
- [2] Vallamkondu, A.K dan Setty Kalyan. 2013. *Active Safety Braking System. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 12, December 2013 ISSN 2250-3153.*
- [3] Fitrawan, M, Ashadi.2012. Analisis *Steering Linkage* pada INKA GEA dan Stabilitas dengan Variabel Kecepatan, Sudut Belok terhadap Beban Muatan dan Posisi Muatan, Teknik Mesin ITS, Surabaya(2012).
- [4] Sutantra N & Sampurno B. 2010. Teknologi Otomotif Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya.
- [5] Crolla, David. 2009. *Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle Body. USA: ELSEVIER.*

- [6] Hidayatullah, Taufiq. 2013. Analisis Sudut Belok Roda Sebagai Fungsi Sudut Belok Depan dan Kecepatan pada Mobil Mini 4 WS. Skripsi. Teknik Mesin ITS Surabaya.