

PENGARUH PENAMBAHAN ATAP SEKUNDER KABIN MOBIL (SECONDARY CABIN ROOF) TERHADAP GAYA AERODINAMIS DAN PERILAKU ARAH PADA MOBIL SEDAN

Ahmad Su'udi¹⁾, A. Yudi Eka Risano¹⁾ dan Andy Abdel Hakim²⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung

Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947

e-address : andyabdelhakim@gmail.com

Abstract

This paper describes aerodynamic tests (wind tunnel test) for a model of secondary cabin roof (SCR) applied in BMW M3 E92 Coupe. SCR is a vehicle accessory installed on vehicle roof useful to block heats from sun while the car parking. The test were conducted at UPT-Laboratorium Aero Gas Dinamika dan Getaran (LAGG)-BPPT, PUSPITEK, Serpong, to determine lift and drag coefficient (cl and cd) of vehicle. This model with scale of 1:4.5 was tested with rigid body made by wood. The SCR model has been made from aluminium and has two kinds of type, which are A and B. The model test was carried out with the following parameters: wind speed of 15, 20 m/s, then 1,5 cm and 2,5 cm for height of SCR from roof. Before the test start, the first things that must be done is preparation the tools for test, next step is calibration of external balance in wind tunnel to obtain matrix of calibration. The inverse of this matrix named matrix of test will be used as a multiply factor to voltage measurement from result test of external balance while test start. Output from this multiply is aerodynamic forces experienced by model test. Installing SCR made some change to aerodynamic experienced by vehicle. From data of test, installing SCR type B with height 1,5 cm from roof, the smallest cl can be obtained for each variation of velocity are 0,3 for 15 m/s and 0,29 for 20 m/s. Meanwhile, installing SCR type A with height 2,5 cm from roof, the smallest cd be obtained for each variation of velocity are 0,368 for 15 m/s and 0,355 for 20 m/s. This results are valid if only the flow regime of two corresponding fluid are same and with the same model too.

Keywords: SCR, Aerodinamics, Wind Tunnel.

LATAR BELAKANG

Sebuah eksperimen pernah dilakukan oleh San Fransisco State University mengenai mobil yang dijemur dengan suhu lingkungan yaitu 90°F atau 32°C dalam satu jam akan mengakibatkan temperatur di dalam kabin meningkat menjadi 133°F atau 56°C (Jan, 2000). Hal yang berbeda tentu akan terjadi apabila mobil diparkir pada tempat yang teduh. Kerja AC tidak akan berat karena beban pendinginan yang tidak besar dan waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan kabin juga tidak terlalu lama. Sebuah penelitian mengenai pemasangan SCR (Secondary Cabin Roof) pada atap mobil memberikan dampak yang

signifikan terhadap penurunan suhu dalam kabin mobil ketika mobil terpapar sinar matahari langsung. Walaupun kendaraan tidak diparkir di tempat yang teduh, namun suhu di dalam kabin tidak setinggi suhu kabin mobil yang tidak menggunakan SCR (Su'udi, 2011). Pada penelitian yang dilakukan, mobil dalam keadaan diam atau tidak berjalan. Maka tidak diketahui dampaknya terhadap masalah stabilitas dan getaran yang ditimbulkan oleh pemasangan SCR pada atap mobil ketika mobil tersebut berjalan. Hal tersebut yang melatarbelakangi dilakukan penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan SCR pada gaya aerodinamis dan perilaku arah untuk mobil sedan.

Dengan penambahan SCR pada atap kabin mobil pasti akan berpengaruh terhadap gaya aerodinamis kendaraan, hal ini yang ingin diteliti. Tujuannya, selain dapat mengurangi panas yang masuk ke kabin mobil, diharapkan dengan penambahan SCR tidak terlalu mempengaruhi aerodinamika kendaraan sehingga dapat dilakukan kajian lanjutan mengenai penerapan SCR pada kendaraan.

Dalam bidang aerodinamika terdapat tiga cara dalam menyelesaikan permasalahan aerodinamika, pertama yaitu dengan metode teoritis lalu metode komputasi dan yang terakhir adalah eksperimental. Meskipun metode komputasi dan metode teoritis sudah banyak mengalami perkembangan, namun metode eksperimental dengan menggunakan terowongan angin masih berperan penting dalam mengatasi permasalahan aerodinamika.

Gaya aerodinamis sendiri tergantung dari koefisien aerodinamis yang didapatkan dari pengujian yang dilakukan pada *wind tunnel* (terowongan angin) terhadap bodi suatu kendaraan. Bentuk suatu bodi kendaraan dikatakan aerodinamis apabila besar koefisien aerodinamis bernilai kecil dimana bentuknya adalah *streamline* (mengikuti arah aliran), sehingga dengan nilai koefisien aerodinamis yang kecil maka didapat nilai gaya aerodinamis yang kecil pula.

TEORI DASAR

Ketika objek bergerak melalui udara, terdapat gaya yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara udara dan permukaan benda. Aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari tentang gaya - gaya ini, yang dihasilkan oleh gerakan udara, menurut jenis aliran biasanya aerodinamika dikelompokkan menjadi; subsonik, hipersonik, supersonik. Terowongan angin digunakan untuk menganalisis aerodinamis mobil, selain itu perangkat lunak juga digunakan untuk memastikan desain aerodinamis yang optimal.

Aerodinamika

Salah satu aspek dalam perancangan bodi kendaraan adalah aerodinamika. Ketika objek bergerak melalui udara, terdapat gaya yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara udara dan permukaan bodi. Studi tentang

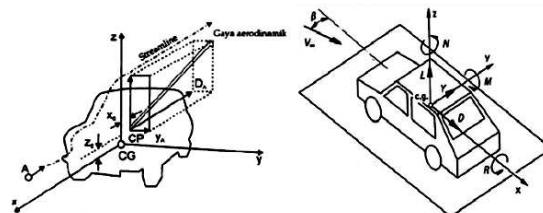
gaya-gaya yang dihasilkan oleh udara disebut aerodinamika. Aerodinamika didefinisikan sebagai dinamika dari gas-gas, khususnya interaksi antara objek yang bergerak dengan udara sekitarnya (*Anderson, 2005*).

Studi Aerodinamika Pada Mobil

Dalam rangka meningkatkan aerodinamis pada mobil terlebih dahulu harus mengetahui bagaimana aliran udara melewati mobil, kalau dibayangkan sebuah mobil bergerak melalui udara. Seperti diketahui diperlukan energi untuk membuat mobil melaju, dan energi ini digunakan untuk melawan gaya-gaya aerodinamis yang terjadi pada mobil.

Penyebab utama dari timbulnya gaya-gaya aerodinamis pada kendaraan adalah :

- Adanya distribusi tekanan pada permukaan bodi kendaraan yang akan bekerja pada arah normal terhadap permukaan kendaraan.
- Adanya distribusi tegangan geser pada permukaan bodi kendaraan yang akan bekerja pada arah tangensial terhadap permukaan kendaraan.



Gambar 1. Gaya aerodinamik pada kendaraan. [Melania]

Apabila distribusi tekanan dan tegangan tersebut diintegalkan maka akan dihasilkan gaya-gaya aerodinamis, yaitu :

1. Gaya angkat aerodinamis (*Lift Force*)
2. Gaya hambat aerodinamis (*Drag Force*)
3. Gaya samping aerodinamis (*Side Force*)
4. Gaya akibat pusaran udara (*Turbulence Force*)

Keempat gaya di atas saling berkaitan satu dengan yang lainnya dalam menciptakan gaya aerodinamis, dan sangat dipengaruhi oleh bentuk bodi kendaraan

Gaya Angkat (*Lift Force*)

Lift force disebabkan oleh efek bernoulli yang menyatakan semakin cepat udara bergerak maka semakin kecil tekanannya. Artinya kecepatan udara pada permukaan bagian atas lebih cepat dibanding kecepatan udara pada permukaan bagian bawah. Karena kecepatannya lebih cepat maka tekanannya lebih kecil dari pada tekanan udara yang melewati permukaan

bagian bawah. Karena perbedaan tekanan inilah maka timbul gaya angkat (*Lift*) pada objek yang bergerak.

Secara matematik gaya angkat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{lift} = (1/2)cl\rho V^2 A \quad (1)$$

Gaya Hambat (Drag Force)

Drag force adalah gaya kebelakang, mendorong mundur dan disebabkan oleh gangguan aliran udara pada bodi kendaraan dan parallel dengan arah angin. Definisi lainnya adalah *drag* merupakan studi aerodinamis aliran udara yang ada di sekitar dan melalui kendaraan, terutama jika berada pada posisi bergerak. Dengan kata lain *drag* merupakan jumlah semua gaya eksternal dalam aliran fluida yang melawan arah gerak objek dan disebabkan oleh aliran udara turbulen di sekitar benda yang melawan gerak maju objek melalui gas atau cairan.

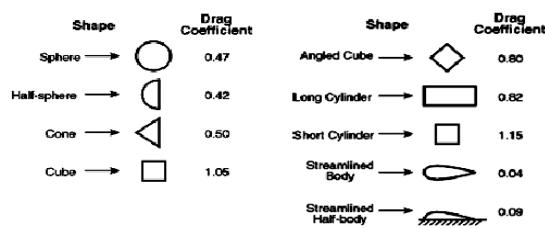
Secara matematis gaya hambat dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_{drag} = (1/2)cd\rho V^2 A \quad (2)$$

Berikut ini adalah nilai *cd* dari beberapa kendaraan dan bentuk.

Tabel 1. Nilai *cd* berbagai kendaraan

Bentuk/model kendaraan	Nilai <i>cd</i>	Model
Bentuk open convertible	0.5 – 0.7	Model Alfa Romeo Giulia 1970
Bentuk van/jeep commando	0.5 – 0.7	Model VW Passat 1978
Bentuk bus/minibus	0.6 – 0.8	Model Peugeot 504
Bentuk ponton (sedan kotak)	0.4 – 0.55	Model BMW 520
Bentuk lancip, sport	0.3 – 0.4	Model Volvo 244 G1
Model Masda 323 1975	0.52	Model Mercedes 280
Model Fiat 127 1975	0.41	Model Porche 1924
Model Citroen GS 1971	0.30	Model Renault Vesta

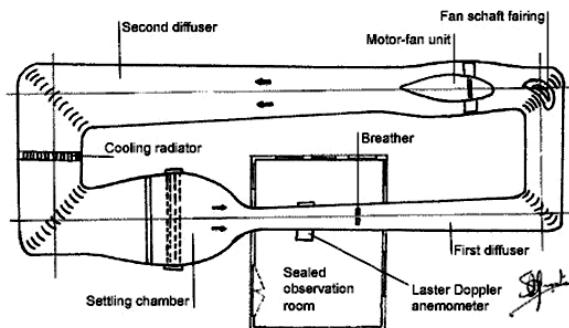


Gambar 2. Bentuk frontal area pada benda dan koefisien drag-nya. [Fox, 2003]

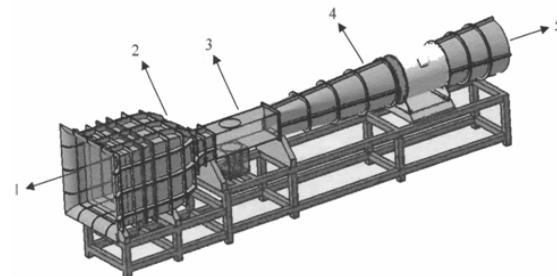
Wind Tunnel

Sebuah terowongan angin (*wind tunnel*) adalah alat yang dikembangkan untuk membantu penelitian dengan mempelajari efek udara bergerak di sekitar benda padat. Udara dihembuskan melalui saluran yang dilengkapi

port dan instrumentasi dimana model alat atau bentuk-bentuk geometris sudah terpasang untuk diuji dan dipelajari. Berbagai teknik kemudian digunakan untuk mengetahui aliran yang sebenarnya di sekitar model dan membandingkannya dengan hasil teoritis, yang memperhitungkan bilangan Reynolds dan bilangan Mach pada tiap pengujian. Berikut merupakan contoh skema dari *wind tunnel*.



Gambar 3. Skema wind tunnel. [Ilmu Terbang.Com]



Gambar 4. Terowongan angin saluran terbuka. [LAGG, 2007]

Keterangan gambar :

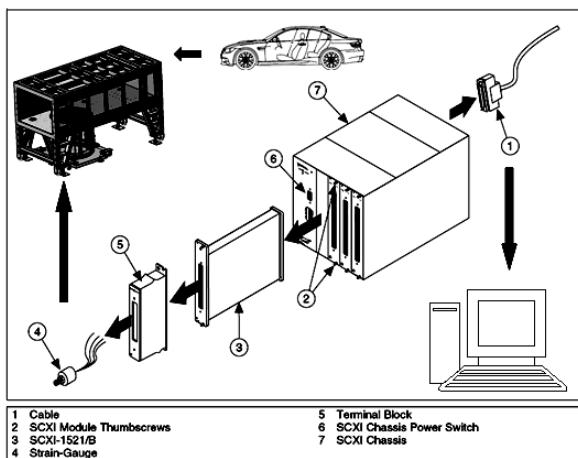
1. Ruang penenang
2. Kontraksi
3. Seksi uji
4. Diffuser
5. Motor listrik dan saluran keluar udara

Sebuah terowongan angin terdiri dari bagian yang berbentuk tabung yang tertutup dan dengan benda uji dipasang di tengah. Udara dihemuskan oleh sistem kipas yang kuat melewati benda uji. Kipas ini harus memiliki sudut pengarah untuk melancarkan aliran agar stabil. Benda uji dilengkapi dengan

alat keseimbangan untuk mengukur gaya yang dibangkitkan aliran udara, atau dengan menginjeksikan asap atau bahan lain ke aliran udara untuk melihat perilaku aliran yang mengalir di sekitar benda uji.

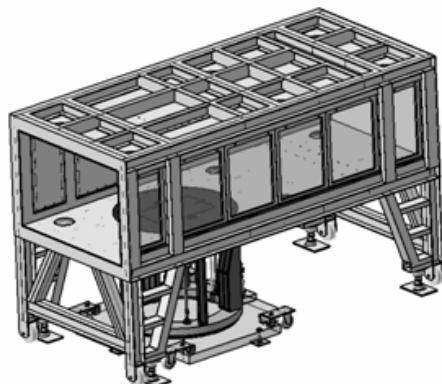
Pengukuran Gaya Aerodinamis

Gaya – gaya aerodinamika yang terjadi pada model di terowongan angin juga bisa diukur dengan timbangan luar. Timbangan luar pada dasarnya adalah suatu sistem mekanik dan elektronik, dimana gaya/momen diukur oleh sensor/tranducer yang berupa kombinasi *strain-gauge* atau *load-cell* (LC). Data analog yang berupa tegangan akan dikeluarkan oleh LC, yang besarnya berbanding lurus dengan besaran fisikanya (gaya/momen terukur). Data analog (voltase) selanjutnya dikondisikan oleh unit pengkondisi sinyal (CU) agar dapat dibaca oleh perangkat *analog to digital converter* (ADC) yang terhubung dengan komputer, dimana suatu program komputer selanjutnya akan membaca data ADC ini dan mengembalikannya ke data analog atau besaran fisika (gaya/momen).

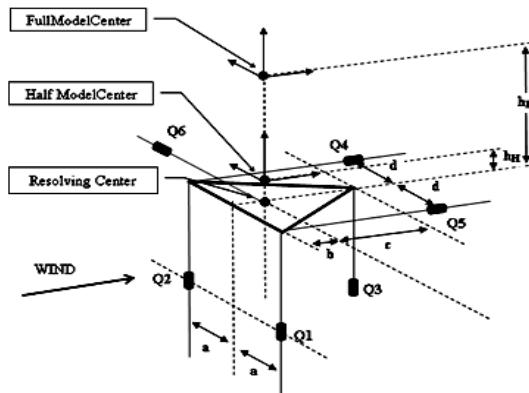


Gambar 5. Bagan pemasangan alat sensor, CDU dan ADC

Berikut merupakan letak timbangan luar pada terowongan angin.



Gambar 6. Letak timbangan luar pada terowongan angin. [Fariduzzaman, 2011]



Gambar 7. Sketsa platform timbangan luar. [Fariduzzaman, 2011]

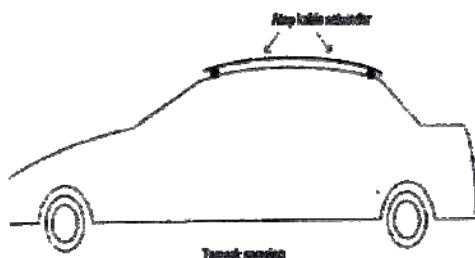
Studi Model Dan Kesamaan Aliran

Di dalam pengujian aerodinamika, model pengujian biasanya mempunyai ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran sebenarnya. Agar berguna, model tes harus mengekstrak data yang dapat diskalakan untuk menentukan gaya, momen, dan beban dinamik yang muncul pada prototipe skala penuh, maka pengujian aerodinamika harus dilakukan pada asas similaritas/kesamaan.

Secondary Cabin Roof (SCR)

SCR merupakan aksesoris tambahan pada mobil berupa atap kabin sekunder yang dipasang diatas atap utama mobil. SCR ini dirancang dengan maksud mengurangi panas yang masuk ke dalam kabin karena sinar matahari ketika sebuah mobil sedang diparkir

ditempat terbuka ataupun sedang berjalan, sehingga akan membantu meringankan kerja ac mobil ketika ac dihidupkan. Hasil penelitian yang telah dilakukan, SCR mampu menurunkan temperatur didalam kabin mobil hingga 3°C tanpa AC mobil dihidupkan dan dapat membantu menurunkan temperatur hingga 9°C pada saat AC dihidupkan. Pengujian yang telah dilakukan terhadap SCR hanya berupa pengujian statis artinya mobil tidak dalam keadaan berjalan. Berikut adalah gambar SCR pada mobil (*Su'udi, 2010*).



Gambar 8. Skema pemasangan SCR pada mobil.
[*Su'udi, 2010*]

LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) merupakan perangkat lunak (*software*) buatan *National Instruments* yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau diagram blok sementara bahasa pemrograman C++ atau *Matlab* menggunakan basis teks. Hal ini memudahkan pengguna untuk memahami atau membuat suatu program, karena fungsi-fungsi yang digunakan direpresentasikan melalui suatu gambar atau simbol (*ITB, 2003*)

METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

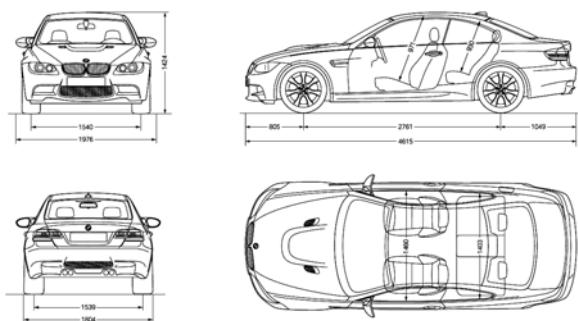
Model Uji

Satu unit model mobil BMW M3 Coupe dengan penambahan SCR, dibuat berbahan Kayu dengan skala 1 : 4,5 sesuai dengan fasilitas uji terowongan angin di UPT – LAGG – BPPT. Adapun data geometrik model uji dapat dilihat pada gambar berikut.

Model dengan skala 1 : 4,5



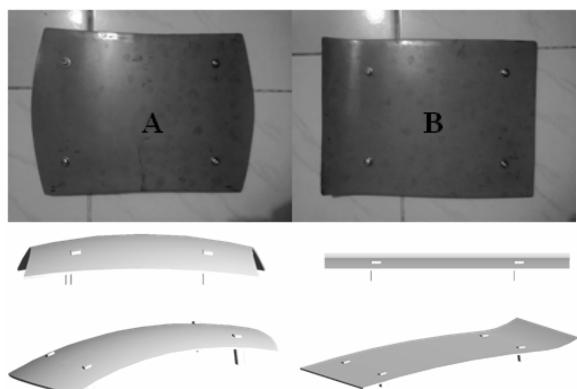
Gambar 9. Model Uji



Gambar 10. BMW M3 E92 Coupe

Model SCR

Bentuk dan geometri dari SCR sesuai dengan bentuk atap dari mobil yang menjadi model uji dengan perbandingan skala yang sama dengan yang tersebut di atas dengan ketebalan 0,8 mm dan berbahan lembar aluminium.



Gambar 11. Model SCR A dan B

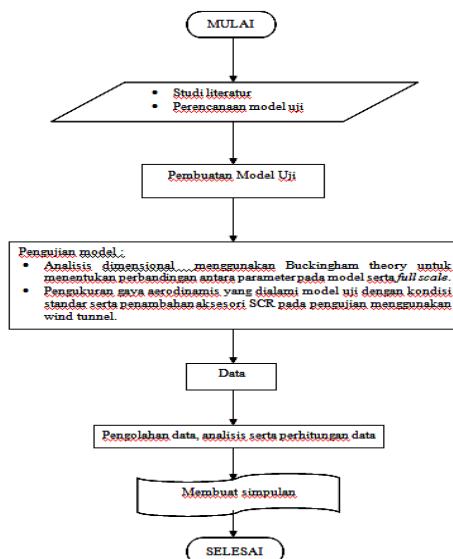
Fasilitas Alat Uji

Metodologi uji terowongan angin dilakukan dengan mengikuti standar pengujian UPT – LAGG – BPPT. Terowongan angin yang digunakan adalah terowongan angin kecepatan rendah (*LAGG Industrial Wind Engineering Tunnel - LIWET*) dengan spesifikasi sirkuit tipe terbuka, dengan dimensi seksi uji sebesar 2 m x 1,5 m, memiliki panjang sebesar 12 m, serta memiliki *balance* yang mampu menahan beban sebesar 50 Kg. Kecepatan angin maksimum yang dapat dicapai adalah 20 m/s.

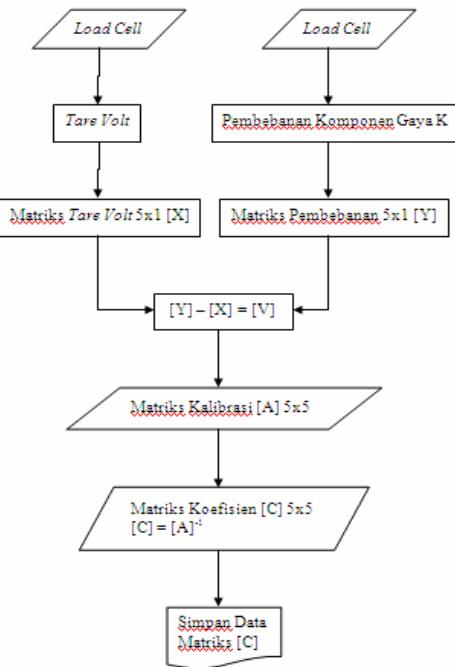


Gambar 12. Terowongan Angin

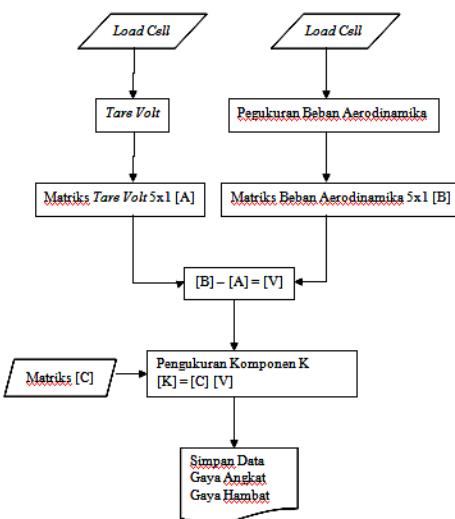
Sebelum dilakukan pengujian pada terowongan angin, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi timbangan luar untuk mendapatkan matriks pengujian. Berikut merupakan alur penelitian dan pengujian.



Gambar 13. Diagram alir penelitian



Gambar 14. Diagram alir kalibrasi timbangan luar



Gambar 15. Diagram alir pengujian

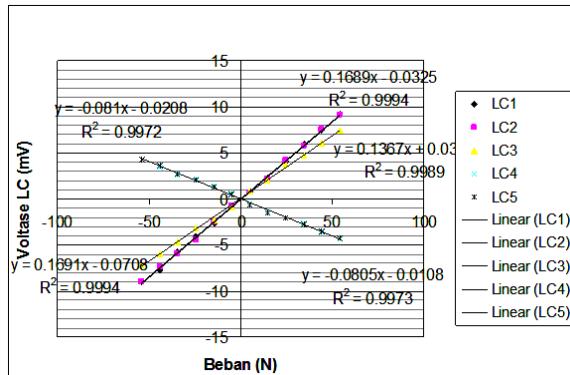
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian menggunakan terowongan angin yang telah dilakukan hanya

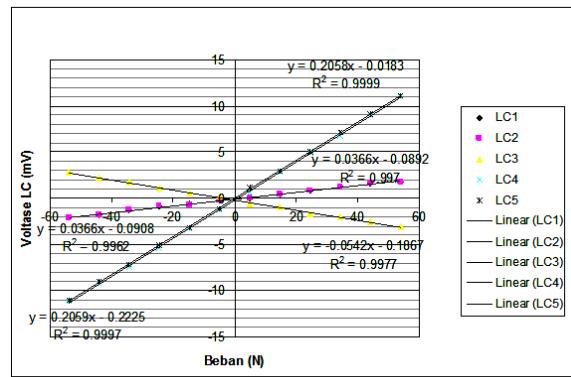
meliputi pengukuran dua buah komponen gaya dari enam buah komponen gaya keseluruhan. Dua komponen gaya tersebut adalah, gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*). Empat komponen gaya lainnya tidak dilakukan pengujian dan pengukuran mengingat waktu penelitian yang dibutuhkan terlalu lama dan rumit dalam pelaksanaannya. Penggunaan sudut serang juga diabaikan dalam pengujian karena jika dilakukan muncul kendala lain yaitu kesulitan dalam proyeksi luas bidang kontak mobil terhadap angin.

Pada pengujian ini dilakukan beberapa variasi pengujian meliputi tinggi SCR dari atap mobil, tipe SCR yang digunakan, dan kecepatan angin yang dihembuskan, namun hanya menggunakan satu sudut serang angin tidak ada rotasi model dalam arah horizontal, sehingga angin yang diterima hanya dari depan saja. Untuk menghemat waktu sampel pengujian hanya dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap variasi kemudian dirata-rata.

Berikut merupakan data hasil kalibrasi timbangan luar untuk komponen K1 (gaya angkat/*lift force*) dan komponen K2 (gaya hambat/*drag force*) menggunakan bantuan *Microsoft Excel* setelah dilakukan regresi linier untuk mendapatkan persamaan garis liniernya, untuk kemudian dijadikan matriks kalibrasi yang selanjutnya akan diinverskan menjadi matriks pengujian.



Gambar 16. Grafik regresi linier hasil kalibrasi timbangan luar untuk komponen K1.



Gambar 17. Grafik regresi linier hasil kalibrasi timbangan luar untuk komponen K2.

Berdasarkan data yang didapatkan dari kalibrasi *external balance* akan diperoleh beberapa persamaan linier seperti pada grafik hasil kalibrasi di atas. Persamaan ini akan diubah ke dalam bentuk matriks 5 x 5 yang disebut dengan matriks kalibrasi. Hasil invers dari matriks ini selanjutnya akan digunakan pada saat pengujian untuk mengubah pembacaan voltase pada LC menjadi komponen gaya aerodinamis. Berikut merupakan data hasil pengujian.

Dari hasil data rata-rata LC tiap pengujian, data ini kemudian akan dikalikan dengan matriks pengujian yang telah didapatkan sebelumnya. Hasil dari perkalian matriks ini adalah komponen gaya aerodinamis yakni gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*). Berikut merupakan gaya yang terukur pada saat pengujian.

Tabel 2. Besar gaya angkat dan gaya hambat yang terukur.

Pengujian		Kecepatan	K1 (gaya angkat)	K2 (gaya hambat)
SCR tipe	Tinggi SCR	15 m/s	4,1651593N	4,5995624N
		20 m/s	7,0640194N	7,949861N
SCR tipe A	1,5 cm	15 m/s	4,9125077N	5,6929996N
	1,5 cm	20 m/s	8,4748835N	9,7944079N
	2,5 cm	15 m/s	4,9737228N	5,6317845N
	2,5 cm	20 m/s	8,4694422N	9,6583745N
SCR tipe B	1,5 cm	15 m/s	4,7806687N	5,9758359N
	1,5 cm	20 m/s	8,2156677N	10,28375N
	2,5 cm	15 m/s	4,7966043N	5,8961581N
	2,5 cm	20 m/s	8,2439976N	10,1421N

Berdasarkan *persamaan (1)* dan *(2)* mengenai gaya angkat dan gaya hambat, gaya

yang dihasilkan ini kemudian diurai untuk mendapatkan nilai koefisien angkat cl dan koefisien hambat cd .

Tabel 3. Nilai cl hasil perhitungan.

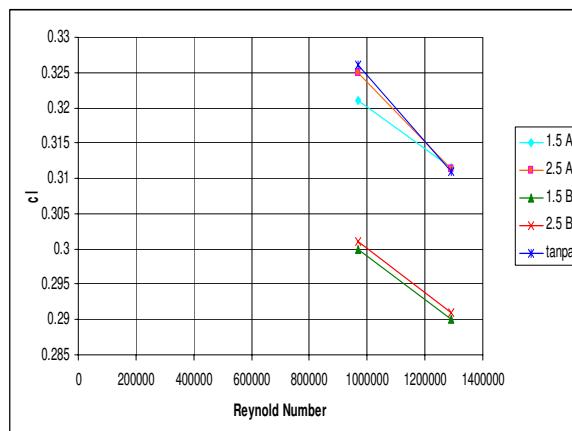
Pengujian	V (m/s)	Lift (N)	ρ (kg/m ³)	A (m ²)	μ (N.s/m ²)	L (m)	Re	d
Tanpa SCR	15 m/s	4,1651593	1,17	0,097068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,326
	20 m/s	7,0640194	1,17	0,097068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,311
	SCR							
A	1,5 cm	4,9125077	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,321
	20 m/s	8,4749835	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,3115
	2,5 cm	4,9737228	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,325
	20 m/s	8,4694422	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,3113
	1,5 cm	4,7806687	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,3
	20 m/s	8,2156677	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,29
B	2,5 cm	4,7966043	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,301
	20 m/s	8,2439976	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,291

Tabel 4. Nilai cd hasil perhitungan.

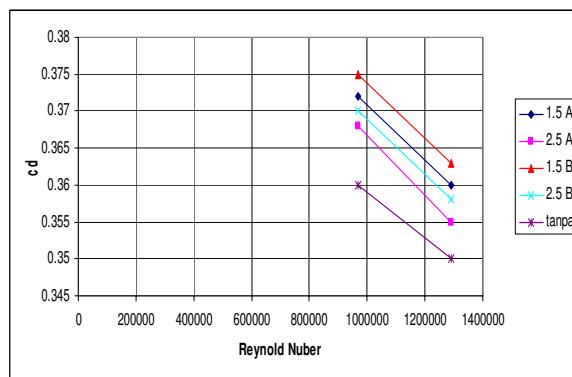
Pengujian	V (m/s)	Drag (N)	ρ (kg/m ³)	A (m ²)	μ (N.s/m ²)	L (m)	Re	cd
Tanpa SCR	15 m/s	4,5995624	1,17	0,097068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,36
	20 m/s	7,9498610	1,17	0,097068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,35
	SCR							
A	1,5 cm	5,6929995	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,372
	20 m/s	9,7944079	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,36
	2,5 cm	5,6317845	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,368
	20 m/s	9,6583744	1,17	0,116268	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,355
B	1,5 cm	5,9758358	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,375
	20 m/s	10,283749	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,363
	2,5 cm	5,8961580	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	967.505,2	0,37
	20 m/s	10,142100	1,17	0,121068	1,86x10 ⁻⁵	1,025556	1,290.007	0,358

Dari perhitungan ternyata nilai cl dan cd hasil pengujian tanpa SCR ternyata tidak sama dengan nilai cl dan cd dari kendaraan aslinya yaitu sebesar 0,34 untuk cl dan 0,32 untuk cd (**Joseph Katz, 1995**). Hal ini terjadi dikarenakan bilangan Reynolds yang digunakan saat pengujian bernilai rendah dalam arti kecepatan aliran rendah. Dalam buku *Introduction to Fluid Mechanis* disebutkan bahwa dengan nilai bilangan Reynolds yang rendah akan didapatkan nilai cd yang tinggi sampai pada poin tertentu yang mengakibatkan nilai cd menjadi tetap. Untuk mendapatkan nilai cd pengujian yang mendekati nilai cd asli, maka pengujian harus dilakukan dengan nilai bilangan Reynolds yang tinggi dengan kata lain kecepatan aliran yang digunakan juga harus tinggi. Hal yang sama juga berlaku untuk gaya angkat, karena besar gaya angkat berbanding lurus dengan besar

kecepatan yang digunakan. Dikarenakan dalam pengujian ini menggunakan kecepatan yang rendah maka gaya angkat yang terukur juga kecil, sehingga nilai cl dan cd hasil pengujian hanya berlaku pada rezim aliran pengujian saja. Nilai cl dan cd yang didapatkan dari pengujian ini tidak dapat digunakan untuk kecepatan atau rezim aliran yang berbeda dari rezim dan kecepatan aliran saat pengujian.



Gambar 18. Grafik cl vs bilangan reynold.



Gambar 19. Grafik cd vs bilangan reynold.

Dari trend grafik di atas menunjukkan bahwa dengan penambahan SCR pada atap kabin mobil, dapat menyebabkan perubahan gaya aerodinamika yang di terima oleh kendaraan. Hal ini terlihat jelas dari grafik yang tidak berimpit, tetapi masing masing variasi dalam pengujian memiliki grafik tersendiri.

Berdasarkan **tabel 2**, dengan penambahan kecepatan fluida pada saat

pengujian akan mengakibatkan penambahan nilai gaya aerodinamika yang diterima oleh kendaraan. Hal ini dapat terjadi karena gaya aerodinamika merupakan fungsi dari kuadrat kecepatan fluida, maka tak heran jika semakin besar kecepatan fluida maka gaya aerodinamika juga semakin besar. Faktor utama yang mempengaruhi besar nilai gaya hambat adalah bentuk dari model (*form drag*), *form drag* memiliki kontribusi yang cukup besar yakni sebesar 0,00 – 0,45 pada nilai *cd* (Joseph Katz, 1995). *Form drag* dipengaruhi oleh bentuk bodi kendaraan. Semakin *streamline* bentuk suatu bodi kendaraan maka nilai *cd* semakin kecil. Turunan dari bentuk bodi kendaraan adalah luas bidang frontal kendaraan yang kontak dengan fluida mengalir. Dalam **persamaan 2** nilai *A* merupakan proyeksi luas bidang frontal kendaraan yang kontak dengan fluida mengalir dalam bentuk 2 dimensi. Pada umumnya kendaraan memiliki gaya angkat yang terbangkitkan karena dipengaruhi bentuk kendaraan, sehingga mengakibatkan kendaraan tidak stabil saat melaju dalam kecepatan tinggi. Untuk mengatasi hal ini dipasang sebuah aksesoris kendaraan yakni *wing*, *spoiler*, maupun *hood* yang berguna membantahkikan gaya angkat negatif karena berbentuk seperti sayap terbalik (*inverted wing*).

Untuk pengujian menggunakan SCR baik tipe A maupun tipe B apabila dibandingkan dengan pengujian tanpa SCR ternyata terjadi penambahan nilai gaya aerodinamika yang dialami oleh kendaraan yang dipasang SCR. Hal ini dapat terjadi karena dengan pemasangan SCR akan mengakibatkan penambahan luas bidang frontal kendaraan yang kontak dengan fluida mengalir. Selain *form drag* faktor lain yang mempengaruhi besar gaya hambat adalah *skin friction*. *Skin friction* disebabkan oleh kehalusan permukaan bodi yang kontak dengan fluida. Semakin halus permukaan bodi maka *skin friction* yang dibangkitkan juga akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Dengan penambahan SCR maka sisi yang berkontak dengan fluida akan bertambah menyebabkan penambahan *skin friction* yang terjadi.

Sedangkan dalam hal variasi ketinggian pemasangan SCR ternyata hanya berdampak

kecil terhadap gaya aerodinamika yang diterima kendaraan. Sementara itu, untuk pemasangan tipe SCR berbeda akan didapatkan nilai gaya aerodinamika yang berbeda pula. Pada SCR tipe A, gaya angkat yang terukur lebih besar jika dibandingkan dengan gaya angkat yang terukur pada SCR tipe B, sementara gaya hambat yang terukur pada SCR tipe A lebih kecil jika dibanding dengan gaya hambat yang terukur pada SCR tipe B. Bentuk dari kedua SCR ini sangat berbeda, pada SCR tipe B yang memiliki gaya angkat yang lebih kecil dapat terjadi dikarenakan bentuk SCR pada tipe B seperti bentuk sayap terbalik, sehingga memiliki gaya angkat yang lebih kecil disbanding dengan SCR tipe A. Namun bentuk SCR tipe B juga mengakibatkan penambahan gaya hambat dikarenakan bentuk sayap terbalik yang memberikan tahanan terhadap aliran udara.

Dari **gambar 17** dan **18** nilai koefisien gaya angkat terkecil (*cl*) didapatkan dari pemasangan SCR tipe B dengan ketinggian pemasangan 1,5 cm yaitu sebesar 0.3 pada kecepatan 15 m/s dan 0.29 pada kecepatan 20 m/s, sementara itu nilai koefisien gaya hambat terkecil (*cd*) didapatkan dari pemasangan SCR tipe A dengan ketinggian pemasangan 2,5 cm yaitu sebesar 0.368 pada kecepatan 15 m/s dan 0.355 pada kecepatan 20 m/s. Dari kedua grafik ini semakin besar bilangan Reynolds maka nilai *cl* dan *cd* semakin kecil, namun penurunan nilai dari kedua koefisien ini tidak sampai bernilai nol, ada masa dimana nilai kedua koefisien ini bernilai tetap walaupun dengan penambahan bilangan Reynolds (Fox, 2003).

KESIMPULAN

Berdasarkan dari penjabaran dan uraian materi-materi yang telah disebutkan diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Dari perhitungan ternyata nilai *cl* dan *cd* hasil pengujian tanpa SCR yaitu sebesar 0,311 untuk *cl* dan 0,35 untuk *cd* pada kecepatan 20 m/s ternyata tidak sama dengan nilai *cl* dan *cd* dari kendaraan aslinya yaitu sebesar 0,34 untuk *cl* dan 0,32 untuk *cd*. Dikarenakan dalam pengujian ini menggunakan kecepatan yang rendah maka

- gaya angkat dan gaya hambat yang terukur juga kecil, sehingga nilai cl dan cd hasil pengujian hanya berlaku pada rezim aliran pengujian saja.
2. Berdasarkan **tabel 2**, untuk pengujian menggunakan SCR pada tipe A apabila dibandingkan dengan pengujian tanpa SCR ternyata terjadi penambahan nilai gaya aerodinamika yang dialami oleh kendaraan yang dipasang SCR. Hal yang sama juga terjadi pada pengujian menggunakan SCR tipe B jika dibandingkan dengan pengujian tanpa SCR, ternyata terjadi penambahan nilai gaya aerodinamika yang diterima kendaraan. Hal ini dapat terjadi karena dengan pemasangan SCR akan mengakibatkan penambahan luas bidang frontal kendaraan yang kontak dengan fluida mengalir. Dengan penambahan SCR pula maka sisi yang berkontak dengan fluida akan bertambah menyebabkan penambahan *skin friction* yang terjadi.
3. Pada SCR tipe A, gaya angkat yang terukur lebih besar jika dibandingkan dengan gaya angkat yang terukur pada SCR tipe B, sementara gaya hambat yang terukur pada SCR tipe A lebih kecil jika dibanding dengan gaya hambat yang terukur pada SCR tipe B.
4. Dari **gambar 16** dan **17** nilai koefisien gaya angkat terkecil (cl) didapatkan dari pemasangan SCR tipe B dengan ketinggian pemasangan 1,5 cm yaitu sebesar 0.3 pada kecepatan 15 m/s dan 0.29 pada kecepatan 20 m/s, sementara itu nilai koefisien gaya hambat terkecil (cd) didapatkan dari pemasangan SCR tipe A dengan ketinggian pemasangan 2,5 cm yaitu sebesar 0.368 pada kecepatan 15 m/s dan 0.355 pada kecepatan 20 m/s.
5. Secara keseluruhan SCR yang tepat untuk diterapkan pada kendaraan adalah SCR dengan tipe A dengan tinggi pemasangan 2,5 cm dari atap, karena pada tipe A memiliki gaya drag yang lebih kecil jika kendaraan digunakan untuk berjalan, hal ini terjadi karena bentuk SCR tipe A mengikuti kelengkungan bentuk atap (kontur) mobil sedan.
6. Karena kendala teknis, perilaku arah aliran fluida pada model uji tidak dapat ditampilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, Jr, John D. 2005. *Fundamentals of Aerodynamics*. Singapore: Mc Graw-Hill Book Company.
- [2] Anton, Muhammad. 2006. *Desain Struktur Fuselage dan Sayap UAV*. Bandung: ITB.
- [3] Barlow, J. B., W. H. Rae. A. Pope. 1999. *Low-Speed Wind Tunnel Testing (3rd Ed.)*. Wiley-Interscience.
- [4] Crouse, W. H., Anglin, D. L. 1985. *Automotive Mechanics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- [5] Fakih, Azizi dkk. 2010. *Perkembangan Aerodinamika pada Mobil*. Purwokerto: Sekolah Tinggi Teknik Wiworo.
- [6] Farridduzzaman. 2007. *Desain Kalibrasi Timbangan Luar (External Balance) 3 Komponen untuk Terowongan Angin*. Tanggerang: UPT- LAGG.
- [7] Farridduzzaman. 2011. *Konsep Dasar Perancangan External Balance 6 Komponen untuk Terowongan Angin IIUM*. Tanggerang: UPT- LAGG.
- [8] Fox, Robert W., Alan T. McDonald, Philip J. Pritchard. 2003. *Introduction to Fluid Mechanics*. USA: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- [9] Heisler, Heinz. 2002. *Advanced Vehicle Technology (2nd Ed.)*. London: Butterworth-Heinemann.
- [10] <http://www.ilmutterbang.com/artikel-mainmenu-29/teknologi-penerbangan-mainmenu-50/46-teknik-penerbangan/237-aerodinamika-wind-tunnel>
- [11] <http://www.weather.com/newscenter/hotcar06109.html>
- [12] <http://mechanicalengboy.wordpress.com/category/serba-serbi-engineering/>
- [13] <http://staff.uny.ac.id/dosen/prof-dr-herminarto-sofyani-mpd>
- [14] <http://www.scribd.com/doc/65363139/Aerodinamika-Mobil>
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel
- [16] <http://www.ilmutterbang.com/artikel-mainmenu-29/teori-penerbangan-mainmenu-68/26-private-pilot/184-bab-3b-vortex-dan-ground-effect?showall=1>
- [17] Irsyad, Muhammad. 2010. *Analisa Gaya Angkat (Lift) dan Gaya Hambat (Drag) pada Sayap UAV Tipe Dragoco Valans*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- [18] Katz, Joseph. 1995. *Race Car Aerodynamics*. London: Cambridge University Press.

- Aerodynamics Designing for Speed.*
Cambridge: Bentley Publishers.
- [19] Ngartiningsih. 2008. *Pembuatan Sistem Akuisisi dan Proses Data untuk Kalibrasi Timbangan Luar dan Pengukuran Gaya Aerodinamika di Terowongan Angin dengan LabVIEW*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [20] SAE. 2009. *Going With The Flow, Aerospace Engineering and Manufacturing*.
- [21] Su'udi, Ahmad. dan Yudi, A. Eka Risano. 2011. *Rancang Bangun Atap Sekunder Kabin Mobil (Secondary Cabin Roof) untuk Membantu Meringankan Kinerja AC Mobil*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.