

Re-Desain Exhaust System Pada Mesin BMW M43 Dengan Konfigurasi 4-1 Untuk Balap Drag Race

Ashmawan, Rizky R¹⁾, Sutrisno, Teng²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : m24412086@john.petra.ac.id¹⁾, tengsutrisno@petra.ac.id²⁾

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan performa BMW E36 mesin M43 dengan cara melakukan modifikasi keseluruhan pada bagian exhaust untuk balap drag race. Bagian yang dimodifikasi meliputi header dengan konfigurasi 4-1, kolektor, resonator serta muffler. Desain exhaust system yang baik akan memperlancar aliran gas buang dari mesin. Sehingga mampu membuat performa mesin mobil menjadi lebih baik daripada sebelumnya untuk mengejar target time pada balap drag race. Metode penelitian ini adalah dengan mendesain ulang header 4-1 dengan program Solidwork. Kemudian hasil desain tersebut dilakukan simulasi aliran fluida untuk mendapatkan nilai *pressure drop* di tiap pipa silinder. Modifikasi resonator dilakukan dengan variasi dimensi panjang dan di uji dengan alat dynamometer untuk mengetahui perubahan daya dan torsi yang diakibatkan dari modifikasi resonator. Pengujian dilakukan dengan uji coba langsung di sirkuit drag race 201 meter untuk mengetahui peningkatan target time yang ingin di capai. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan target time (*elapsed time*) sebesar 0.85 detik dari time standar 12,2 detik menjadi 11,3 detik.

Kata Kunci: Desain knalpot, Exhaust System, exhaust header, resonator, muffler

1 Pendahuluan

Dalam dunia balap, melakukan modifikasi pada sebuah kendaraan adalah sesuatu yang mutlak dilakukan, Modifikasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan performa kendaraan agar performa yang dihasilkan dapat maksimal. Modifikasi kendaraan dapat dilakukan dengan berbagai cara, tentunya modifikasi tersebut harus sesuai dengan jenis balap beserta regulasi kelas balap yang akan diikuti. Terdapat beberapa tahapan modifikasi [12], Meliputi *stage 1*, *stage 2*, *stage 3*, dan *stage 4*.

Salah satu modifikasi *stage 1* yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa adalah dengan mendesain ulang sistem saluran gas buang atau *exhaust system*. Desain saluran gas buang yang tepat dapat meningkatkan performa mesin hingga 3 sampai 7 persen [1,2].

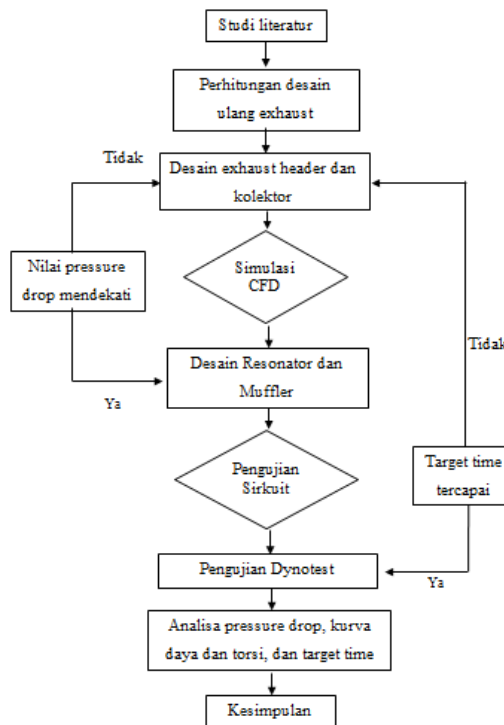
Sistem *exhaust* pada kendaraan standar tidak di peruntukkan untuk menggapai performa maksimal. *Exhaust manifold* standar umumnya terbuat dari besi cor yang memiliki desain dengan nilai *pressure drop* yang terpaut jauh di masing-masing pipa-nya [8]. *Exhaust manifold* berbahan besi cor telah digunakan secara umum oleh pabrikan pembuat mobil selama beberapa dekade karena dua alasan utama, yaitu besi cor lebih mudah dan lebih murah untuk diproduksi, terdiri dari satu bagian besi *casting* dibandingkan dengan header tubular seperti *header* modifikasi atau *aftermarket* yang memerlukan perakitan dan pengelasan.

Dalam hal memilih berbagai desain *header*, tersedia berbagai pilihan diameter pipa *header* dan panjang pipa *header* yang memberikan tingkatan *exhaust tuning* yang berbeda-beda. Sedangkan *exhaust manifold stock cast-iron* atau standar pabrik hampir tidak menawarkan potensi untuk melakukan *exhaust tuning*. Jika tujuan utama modifikasi *exhaust* adalah untuk meningkatkan performa atau *horsepower* beserta torsi tambahan, *header* tubular modifikasi menawarkan pilihan yang tepat. *Header* modifikasi, memungkinkan untuk melakukan *exhaust tuning* secara keseluruhan sehingga desain *header* sesuai dengan kebutuhan mesin. Pilihan yang tersedia dengan *header* tubular modifikasi menyediakan kemampuan *tuning* yang sama sekali tidak mungkin dilakukan dengan manifold standar pabrik dari besi cor karena *exhaust manifold stock cast-iron* memberikan batasan ukuran dan desain. [7].

Selain *header exhaust*, modifikasi *exhaust* yang dilakukan pada penelitian meliputi modifikasi *center pipe* dan melakukan eksperimen pada *resonator*.

Tujuan dari penelitian ini adalah *target time* meningkat 0,5 detik dari keadaan standar pada lintasan 201 meter. Pada kondisi menggunakan *exhaust* standar, BMW 318i M43 mampu melaju 12,4 detik di sirkuit drag 200m. Pipa *header* di desain ulang dan di modifikasi agar memiliki *pressure drop* yang sama di setiap masing-masing pipa *header*. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan performa mesin BMW 318i M43 dengan merubah secara keseluruhan *exhaust system*-nya. Dengan penelitian ini diharapkan mobil dapat berlaga di kelas balap 11,5 detik.

2 Metode Penelitian



Gambar 2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian di mulai dengan studi literatur (Gambar 2.1). Kemudian melakukan perhitungan dimensi *exhaust header*, kolektor dan *center pipe*. Sebelum melakukan proses simulasi CFD, Perlu dilakukan proses gambar menggunakan CAD *design* . Langkah selanjutnya adalah menguji hasil modifikasi *exhaust* di sikuit dan di mesin *dynamometer*. Kemudian melakukan analisa dari hasil penelitian dan dilanjutkan dengan kesimpulan hasil penelitian.

3 Hasil dan Pembahasan

Konfigurasi header yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi 4-1. Derdasarkan perhitungan rumus pada buku Graham Bell didapatkan hasil sebagai berikut:

$$P = 32,672 \text{ inch}$$

$$ID = 1,493 \text{ inch}$$

$$ID3 = 2,015 \text{ inch}$$

$$CL = 4,886 \text{ inch}$$

Gambar 3.1 merupakan desain CAD pipa *header* sebelum dilakukan proses simulasi menggunakan software CFD.

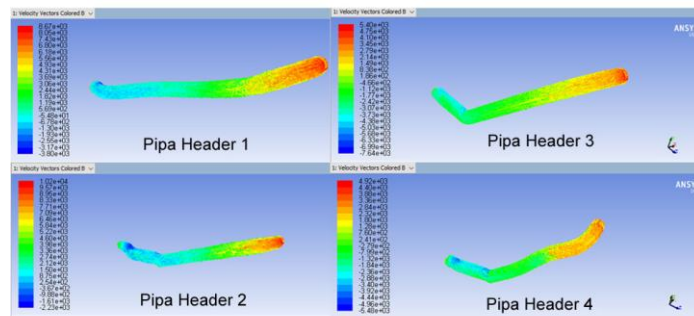


Gambar 3.1 CAD exhaust header

Hasil simulasi (Tabel 3.1) menunjukkan nilai *pressure drop* pada masing-masing pipa *header*. Pipa *header* dikatakan memiliki desain yang baik dan memenuhi syarat jika *pressure drop* pada masing-masing pipa memiliki nilai yang mendekati.

Tabel 3.1 Nilai *Pressure drop* simulasi CFD Header

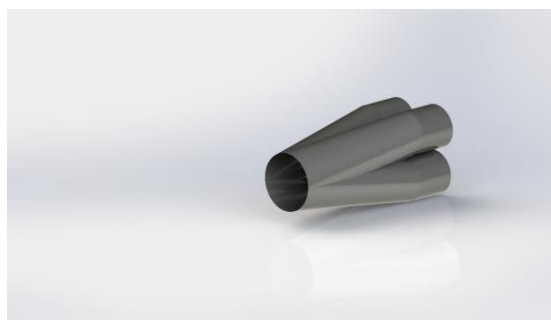
Header Modifikasi			
Pipa 1 (Pa)	Pipa 2 (Pa)	Pipa 3 (Pa)	Pipa 4 (Pa)
4073.0825	3749.4989	3810.3163	3702.9913



Gambar 3.2 Hasil simulasi CFD header

Masing-masing pipa harus memiliki *pressure drop* yang kurang lebih sama. Nilai *loses mayor* dan *minor* harus dikombinasi agar *pressure drop* di masing-masing pipa memiliki nilai yang mendekati. Untuk melakukan hal tersebut, ketersediaan ruang kosong di mesin juga harus dipertimbangkan. Pada gambar 3.2 dapat diketahui pipa nomor 1 memiliki *pressure drop* paling tinggi karena memiliki dimensi yang lebih panjang dibandingkan dengan tiga pipa lainnya. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pipa nomor 1 memiliki *loses mayor* yang besar dikarenakan dimensinya yang lebih panjang. Akan tetapi, Pipa nomor 1 memiliki *loses minor* yang kecil karena lebih sedikit memiliki tekukan dibandingkan dengan ketiga pipa lainnya. Sebaliknya, pipa *header* nomor 2, 3, dan 4 memiliki *loses mayor* yang lebih sedikit karena dimensi panjangnya lebih pendek daripada pipa nomor 1, tetapi pipa *header* 2, 3, dan 4 memiliki lebih banyak *loses minor* karena pipa tersebut memiliki lebih banyak tekukan dibandingkan dengan pipa *header* nomor 1.

Selanjutnya kolektor menggunakan tipe *baffle* dengan sudut kemiringan 7° sesuai dengan teori dari *Four Stroke Performance Tuning* [1,2]. Pada gambar 3.3 ditunjukkan hasil CAD kolektor.



Gambar 3.3 CAD kolektor

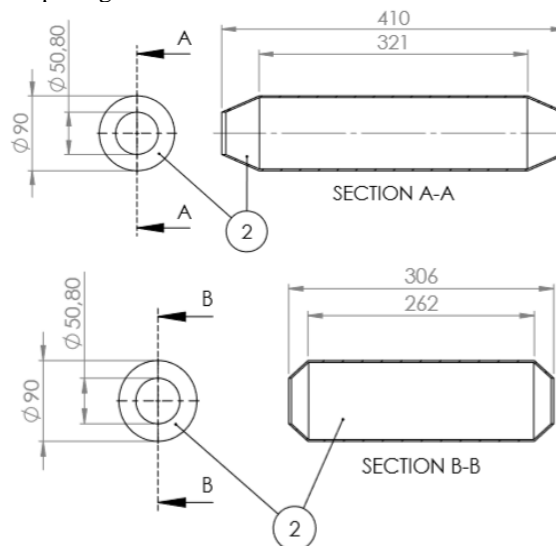
Kolektor di desain dengan dua variasi, menggunakan sudu dan tidak menggunakan sudu. Hasil simulasi CFD adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Pressure drop simulasi CFD Kolektor

Kolektor Dengan Sudu (Pa)	Kolektor Tanpa Sudu (Pa)
ΔP 924.657 Pa	ΔP 827.03 Pa

Pada tabel 3.2 dapat diketahui nilai dari *pressure drop* kolektor tanpa sudu sebesar 827.03 Pa. Nilai *pressure drop* kolektor tanpa sudu lebih kecil dari pada kolektor yang menggunakan sudu (924.657 Pa). Dari data tersebut dapat dianalisa bahwa kolektor tanpa sudu memiliki *pressure drop* yang lebih rendah sehingga *flow* aliran fluida lebih baik meskipun angka yang didapat tidak terlalu jauh. Mengacu data pada tabel 3.2, berdasar hasil analisa, pada penelitian kali ini kolektor yang digunakan adalah yang tidak menggunakan sudu.

Resonator memiliki fungsi untuk meredam suara serta memberikan efek *backpressure*. *Resonator* juga berfungsi untuk mengalirkan gas buang ke atmosfer. Dimensi *resonator* dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.4.

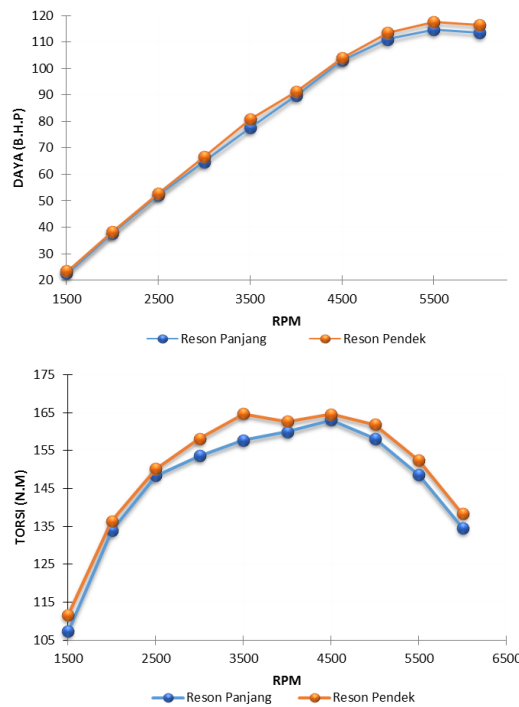


Gambar 3.4 Dimensi Resonator

Eksperimen *resonator* dalam penelitian menggunakan pengujian uji *dynotest* untuk mengetahui peningkatan performa dari mobil. Hasil pengujian resonator dengan *dynotest* seperti pada gambar 3.5.

Dari gambar 3.5 dapat dilihat peningkatan daya maksimal ada pada 3500 RPM dan 5500 RPM. Terjadi peningkatan 3 sampai 3,4 *horsepower* yang disebabkan oleh penggantian *resonator free flow* panjang ke *resonator free flow* pendek. Hal ini disebabkan *resonator* tipe pendek memiliki tendangan balik ke mesin yang lebih rendah ketika gas buang mengalir lepas ke atmosfer, dalam istilah modifikasi *resonator* tipe pendek ini memiliki *flow* yang lebih lancar atau lebih *free flow* daripada *resonator* tipe panjang.

Gambar 3.5 menunjukkan, ketika menggunakan *resonator* tipe panjang torsi maksimal berada pada RPM 4500 dengan nilai 163 Nm, setelah dilakukan penggantian *resonator* tipe pendek, torsi pada RPM 4500 naik menjadi 164.5 Nm. Terjadi peningkatan torsi sebesar 1.5 Nm. Dari grafik diatas juga dapat di lihat peningkatan torsi yang cukup signifikan pada RPM 3500. Saat penggunaan *resonator* tipe panjang torsi pada RPM 3500 sebesar 157.7 Nm namun ketika dilakukan penggantian menggunakan *resonator* tipe pendek torsi meningkat menjadi 164.6 Nm. Pergeseran puncak torsi juga terjadi, ketika menggunakan *resonator* tipe pendek puncak torsi maksimal berada pada 3500 RPM dengan nilai 164.6 Nm.



Gambar 3.5 Hasil uji dynotest resonator

Pengujian selanjutnya dilakukan di sirkuit balap drag race untuk mengetahui peningkatan *target time* yang ingin dicapai. Ketika menggunakan *exhaust system* standar *target time* pada lintasan 201 meter adalah seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Target time exhaust standar

Test	Reaction Time	Elapsed Time	TotalTime
Test Run1	0.318	12,371	12,689
Test Run2	0.223	12,210	12,433
Test Run3	0.321	12,244	12,565

Setelah melakukan modifikasi keseluruhan pada *exhaust system* didapatkan *target time* seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Target time exhaust modifikasi

Test	Reaction Time	Elapsed Time	TotalTime
Test Run2	0.799	11,456	12,255
Test Run3	0.489	11,355	11,844
Test Run4	0.097	11,492	11,589

Dari tabel 4.5 dapat diketahui ketika menggunakan *exhaust* standar, *total time* (*Reaction Time* + *Elapsed Time*) terbaik yang dapat dicapai adalah 12,433 detik. Ketika dilakukan penggantian secara keseluruhan pada sistem *exhaust* meliputi *exhaust header*, *center pipe*, *resonator* dan *muffler*, *total time* tercepat yang dapat di capai adalah 11.589 detik. Sedangkan *elapsed time* tercepat yang dapat dicapai menggunakan *exhaust system* standard adalah 12.210. Ketika menggunakan *exhaust system* hasil modifikasi *elapsed time* tercepat yang dapat dicapai adalah 11.355 detik. Dari modifikasi keseluruhan *exhaust system* pada penelitian ini, *elapsed time* dapat dipersingkat menjadi sekitar 0.85 detik.

4 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengujian di lapangan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Desain ulang *exhaust system* pada mesin BMW M43 318i yang digunakan pada penelitian meliputi penggantian header dari konfigurasi 4-2-1 menjadi tipe 4-1, penggantian *resonator* standar tipe *chambered* menjadi *resonator free flow* dan penggantian *muffler* standar menjadi *muffler freeflow*.
2. Total *target time* pada kondisi standar adalah sebesar 12.4 detik. Setelah dilakukan penggantian full exhaust system, total target time mampu di pangkas 0.85 detik. Sehingga, *total target time (Reaction Time + Elapsed Time)* menjadi 11.5 detik.
3. *ET (Elapsed time)* atau waktu jarak tempuh lintasan drag, dengan *exhaust system* standar ditempuh dengan 12,2 detik. Setelah dilakukan tuning *full exhaust system*, waktu tempuh *elapsed time* dapat di persingkat menjadi 11,3 detik.
4. Berdasar hasil dynotest dengan alat dynamometer, *resonator* tipe pendek memberikan daya dan torsi lebih tinggi daripada *resonator* tipe panjang.
5. Setelah dilakukan modifikasi *exhaust*, mobil dapat berlaga di kelas drag race 11.5 detik.

5 Daftar Pustaka

1. Bell, A.G. (1981). *Performance tuning in theory and practice four stroke*. England: Haynes Publishing Group.
2. Bell, A.G. (1981). *Four Stroke Performance Tuning*. England: Haynes Publishing Group.
3. Bell, A.G. (1997). *Modern Engine Tuning*. England: Haynes Publishing Group.
4. Reynolds, W.C., & Perkins, H.C. (1983). *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
5. Heywood, John B. (1988). *Internal Combustion Engineering Fundamentals*. United States: McGraw-Hill, inc.
6. Kristanto, P. (2015). *Motor bakar torak Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: ANDI.
7. Mavrigian, M. (2014). *Performance Exhaust System, How To Design, Fabricate, and Install*. North Branch: CarTech.
8. Joshua Kuntandi, S. (2016). Desain Sistem Exhaust Toyota Kijang Innova Untuk Meningkatkan Performa. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 16, No 1*.
9. EngineBasics. (n.d.). *Basic engine tuning*. Retrieved December 21, 2017, from http://www.enginebasics.com/Engine_Basics.html
10. Car Throttle. (2015). *Engineering explained: Exhaust system and how to increase performance*. Retrieved January 28, 2018, from <https://www.carthrottle.com>
11. Ordexhaust. (2014). *More deep into headers 41 & 421*. Retrieved December 21, 2017, from <http://ordexhaust.com/news-article/knowledge/41-vs-421/>
12. Torque Cars. (2012). *What is difference between stage 1, stage 2, stage 3 tuning*. Retrieved January 10, 2018, from <https://www.torquecars.com/tuning/tuning-stages.php>
13. Saft7. (2014). *Apa itu dynotest?*. Retrieved January 20, 2018, from <https://www.saft7.com>
14. Grid Oto. (2017). *Cara membaca hasil dynotest*. Retrieved January 20, 2018, from <https://www.gridoto.com>
9. Learn To Drag Race. (n.d.). *Basic of drag racing*. Retrieved February 10, 2018, from http://www.learntodragrace.com/basics_of_drag_racing.htm