

**Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme *Exhaust Energy Harvester*
*Electric Turbo Compounding (ETC)***

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Otomotif Sebagai
Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan*



**Oleh:
FARID MAULANA HARDI
NIM/TM: 16073036/2016**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme *Exhaust Energy Harvester*
*Electric Turbo Compounding (ETC)***

Nama : Farid Maulana Hardi
NIM : 16073036
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

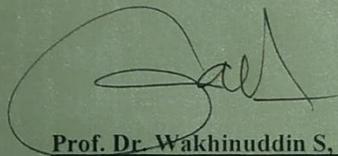
Padang, Februari 2021

**Disetujui Oleh:
Dosen Pembimbing,**



Wagino, S.Pd, M.Pd.T
NIP: 19750405 200312 1 002

**Mengetahui,
Ketua Jurusan**



Prof. Dr. Wakhinuddin S, M.Pd
NIP. 19600314 198503 1 003

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Farid Maulana Hardi
NIM : 16073036

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi di depan Tim Penguji
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan Teknik Otomotif
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang
dengan judul

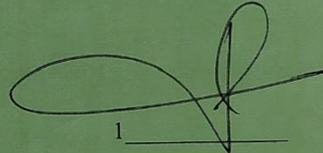
**Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme *Exhaust Energy Harvester*
*Electric Turbo Compounding (ETC)***

Padang, Februari 2021

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Ketua Wagino, S.Pd, M.Pd.T

1 

2. Sekretaris Wanda Afnison, S.Pd, M.T

2 

3. Anggota Ahmad Arif, S.Pd, M.T

3. 

LAMAN PERSEMBAHAN



Moto: "Tak mungkin selesai kalau Tak dimulai"

"Allah menganugerahkan hikmah yang berguan kepada siapa yang dikehendaki-Nya. Dan barangsiapa yang dianugerahi hikmah, ia benar-benar telah dianugerahi karunia yang banyak. Dan hanya orang-orang yang berakallah yang dapat mengambil pelajaran" (Qs.Al-Baqarah Ayat 269).

sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, (Qs. *Al-Insyirah* 6-7)

"Segala perjuangan saya hingga titik ini saya persembahkan pada dua orang paling berharga dalam hidup saya. Hidup menjadi begitu mudah dan lancar ketika kita memiliki orang tua yang lebih memahami kita daripada diri kita sendiri. Terima kasih telah menjadi orang tua yang sempurna."

Terimakasih Keluarga Besarku....

Ayahandaku (**Erdison**), Ibundaku (**Harmiza**) Saudaraku (**Fidel Apria Hardi**) Dan Saudari saudariku (**Fauzaih Zilkha Soneza & Fadhila Nurzi Hayati**).

To My Friends....

"Tanpa inspirasi, dorongan, dan dukungan yang telah kalian berikan kepada saya, saya mungkin bukan apa-apa saat ini."

Terimakasih buat teman teman rombongan samuik atas dukungan nya (**Ucok Zikri, Ba ul, Dedi, Deden Juned, Amaik, Ari C, Ajo Panji, Putra Yuliardi, Haekal A, Aripin, Jamal, Igun, Rudi K**). teman teman Pagaruyuang 1st (**Alim, Samsoel, wahyu Drocool, Andri, Sadli, Apuak, Dll**) Teman Teman Lainnya (**R Fajri, Ipul, Faisal, Eka putra, Ikhwan L, I Jauhari**) dan teman teman di kampus lainnya yang kalau disebutkan semua tidak muat di halaman ini.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Farid Maulana Hardi
NIM/TM : 16073036/2016
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

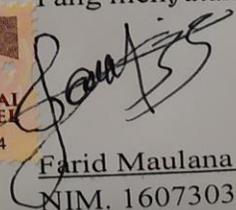
Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya berupa skripsi dengan judul "**Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme Exhaust Energy Harvester Electric Turbo Compounding (ETC)**" ini sepenuhnya karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali dari pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan yang berlaku.

Padang, Februari 2021

Yang menyatakan,




Farid Maulana Hardi
NIM. 16073036

ABSTRAK

Farid Maulana Hardi, 2021: “Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme *Exhaust Energy Harvester Electric Turbo Compounding (ETC)*”

Electric turbo compounding, adalah mekanisme *recovery energy* yang memanfaatkan aliran gas buang untuk menghasilkan energi listrik dengan cara memasang turbocharger yang telah dimodifikasi dengan generator putaran tinggi. Energi yang dihasilkan dari sistem ini dapat disimpan dalam baterai, ataupun untuk memenuhi suplay kebutuhan kelistrikan pada kendaraan ketika sedang beroperasi. Pemasangan ETC pada sistem pembuangan dapat mempengaruhi aliran gas buang karena aliran gas buang tertahan sementara di turbin ETC

penelitian ini membahas bagaimana pengaruh penggunaan mekanisme ETC terhadap kendaraan. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan aplikasi *Solidwork*. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: mengumpulkan data ukuran *muffler* kendaraan, melakukan *modelling* alat sesuai dengan data, melakukan simulasi aliran dan melakukan analisis. Temperatur gas buang yang akan memasuki *exhaust manifold* diatur 1500°K , tekanan gas buang yang memasuki *exhaust manifold* diatur 200 KPa. Pada sistem yang tidak memakai mekanisme ETC diperoleh tekanan sebesar 250921.78pa sedangkan untuk sistem yang memakai mekanisme ETC di peroleh tekanan sebesar 309093.83pa peningkatan tekanan pada *exhaust manifold* terjadi sebanyak 27.6%. sedangkan untuk temperature yang awalnya 1398°K meningkat menjadi 1441.46, terjadi peningkatan sebanyak 3.1%. ,

Pemasangan mekanisme ETC pada kendaraan dapat menyebabkan peningkatan temperature dan peningkatan tekanan di dalam *exhaust manifold* yang mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu mesin. Peningkatan temperature dan tekanan terjadi ini terjadi karena setelah gas buang keluar dari *exhaust manifold* masuk ke mekanisme ETC, gas buang melewati turbin terlebih dahulu, didalam mekanisme ETC terjadi penumpukan gas buang sementara sebelum keluar karena terhambat oleh turbin, penumpukan tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan gas buang.

Kata kunci : aliran gas buang, Mekanisme ETC, *Electrick Turbo Compounding*

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas izin dan ridho-NYA Penulis dapat menulis Skripsi dengan judul “**Analisis Aliran Gas Buang Mekanisme Exhaust Energy Harvester Electric Turbo Compounding ETC**”

Penyusunan Skripsi ini bertujuan untuk melengkapi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Strata Satu (S1) Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penulisan Skripsi ini, penulis tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga dengan bantuan tersebut Skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis ingin mengucapkan terima kasih dengan hati yang tulus dan ikhlas kepada:

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd., M.T. selaku Dekan FT UNP.
2. Bapak Prof. Dr. Wakhinuddin S, M.Pd selaku Ketua Jurusan Teknik Otomotif.
3. Bapak Wagino, S.Pd, M.Pd.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif sekaligus dosen pembimbing Skripsi
4. Bapak Dr. R Chandra, M.Pd. selaku Penasehat Akademik
5. Bapak Wanda Afnison, S.Pd.,M.T. yang membantu penulis dalam menulis Skripsi ini
6. Bapak Ahmad Arif S.Pd, M.T yang membantu saya dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Bapak/Ibu Dosen dan Staf pengajar di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

8. Orang tua yang telah memberikan dukungan dan do'a yang tiada henti pada penulis.
9. Rekan-rekan sesama mahasiswa yang telah memberikan bantuan dan motivasi demi untuk suksesnya penulisan Skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan Skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan dan kemampuan penulis, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Skripsi ini

Padang, 21 januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KAJIAN TEORI	7
A. Kajian Teori.....	7
1. Motor Bakar.....	7
a. Penjelasan Motor Bakar.....	7
b. Prinsip Kerja Motor Bakar.....	8
2. <i>Loss Energy</i>	10
a. <i>Loss Energy</i> Pada Kendaraan.....	10
b. Mekanisme <i>Recovery Energy</i>	11
c. Jenis <i>Electric Turbo Compounding</i>	16
d. <i>Electric turbo compounding</i> yang di teliti.....	18
3. Fluida.....	20
a. Pengertian Fluida	20
b. Fluida Pada Pipa (Saluran Tertutup).....	24
4. SOLIDWORK.....	28

B. Penelitian yang Relevan.....	31
C. Kerangka Berfikir.....	32
D. Pertanyaan Penelitian.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
A. Desain Penelitian.....	33
B. Definisi Operasional Variabel Penelitian.....	35
1. Definisi Operasional.....	35
2. Variabel Penelitian.....	36
C. Objek Penelitian.....	37
D. Jenis dan Sumber Data.....	37
E. Instrumen Penelitian.....	38
F. Prosedur Penelitian.....	38
G. Teknik Pengambilan Data.....	41
H. Teknik Analisis Data.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Hasil.....	42
B. Perbandingan antara <i>engine</i> yang menggunakan mekanisme ETC dan <i>engine</i> yang tidak menggunakan mekanisme ETC.....	61
BAB V PENUTUP.....	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73
Daftar Pustaka	74
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Persebaran energi setelah proses pembakaran	2
Gambar 2. Besarnya energi yang keluar untuk menggerakkan roda	2
Gambar 3. Diagram <i>engine recovery energy</i>	3
Gambar 4. Perbandingan jumlah panas dengan putaran mesin	10
Gambar 5. Diagram persentase energy pada kendaraan	11
Gambar 6. Peta pemanfaatan <i>exhaust</i> energi pada kendaraan	12
Gambar 7. Perbandingan tiga mekanisme <i>exhaust energy recovery</i>	14
Gambar 8. Susunan mekanisme ETC dengan FGT	16
Gambar 9. Susunan mekanisme ETC dengan VNT	17
Gambar 10. Skema pemasangan ETC pada <i>Engine Stand</i>	18
Gambar 11. mekanisme ETC tampak depan.....	18
Gambar 12. mekanisme ETC tampak atas.....	19
Gambar 13. Hukum bernouli	24
Gambar 14. simulasi pengujian defleksi.....	29
Gambar 15. Pengujian tegangan geser	29
Gambar 16. Kerangka berfikir penelitian	32
Gambar 17. flow chart penelitian.....	40
Gambar 18. system pembunagan tanpa mekanisme ETC dan titik pengambilan data.....	42
Gambar 19. Aliran gas buang setelah memasuki filter.....	44
Gambar 20 tekanan gas buang dengan itake parameter <i>0.01kg</i>	45

Gambar 21. suhu gas buang dengan itake parameter 0.01kg/s	46
Gambar 22. kecepatan gas buang dengan itake parameter 0.01kg/s	46
Gambar 23. tekanan gas buang dengan itake parameter 3.143m/s	48
Gambar 24 . suhu gas buang dengan itake parameter 3.143m/s	48
Gambar 25. kecepatan gas buang dengan itake parameter 3.143m/s	49
Gambar 26 .Tekanan gas buang dengan itake parameter $0.001\text{m}^3/\text{s}$	50
Gambar 27 . suhu gas buang dengan itake parameter $0.001\text{m}^3/\text{s}$	51
Gambar 28 . kecepatan gas buang dengan itake parameter $0.001\text{m}^3/\text{s}$	51
Gambar 29. system pembunagan dengan mekanisme ETC dan titik pengambilan data.....	52
Gambar 30.Tekanan gas buang ETC dengan itake parameter 0.01kg/s	54
Gambar 31.suhu gas buang ETC dengan itake parameter 0.01kg/s	55
Gambar 32.Kecepatan gas buang ETC dengan itake parameter 0.01kg/s	55
Gambar 33 .Tekanan gas buang ETC dengan itake parameter $3.143\text{m}/$	57
Gambar 34. Suhu gas buang ETC dengan itake parameter 0.01kg/s	57
Gambar 35 .Kecepatan gas buang ETC dengan itake parameter 3.143m/s ...	58
Gambar 36 .Tekanan gas buang ETC dengan itake parameter $0.001\text{m}^3/\text{s}$...	59
Gambar 37 .Suhu gas buang ETC dengan itake parameter $0.0001\text{m}^3/\text{s}$	60
Gambar38. Kecepatan gas buang ETC dengan itake parameter $0.001\text{m}^3/\text{s}$.	60
Gambar 39: Grafik Perbandingan tekanan dengan <i>inlet mass flow</i> 0.01kg/s .	62
Gambar 40: Grafik Perbandingan temperature dengan <i>inlet mass flow</i> 0.01kg/s	63
Gambar 41: Grafik Perbandingan temperature dengan <i>inlet mass flow</i> 0.01kg/s	65

Gambar 42: Grafik Perbandingan tekanan dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s.</i>	66
Gambar 43: Grafik Perbandingan temperature dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s</i>	67
Gambar 44: Grafik perbandingan kecepatan dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s</i>	68
Gambar 45: Grafik Perbandingan tekanan dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	69
Gambar 46: Grafik Perbandingan temperature dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	70
Gambar 47: Grafik Perbandingan kecepatan dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1. arus yang dihasilkan oleh ETC pada percobaan yang telah dilakukan..	20
Tabel 2. Perbandingan arus yang dihasilkan ETC dengan pengisian biasa.....	20
Table 3. hasil perbandingan hasil pengujian kelenturan dengan simulasi.....	29
Table 4. pengujian tegangan geser dengan simulasi.....	30
Tabel 5. Pola Penelitian	34
Tabel 6. simulasi sistem tanpa mekanisme ETC dengan <i>Inlet mass flow 0.01kg/s</i>	44
Tabel 7 simulasi sistem tanpa mekanisme ETC dengan <i>inlet volume flow 0.001m³/s</i>	47
Tabel 8 simulasi sistem tanpa mekanisme ETC dengan <i>inlet inlet velocity 3.143m/s</i>	50
Tabel 9 simulasi sistem yang memakai mekanisme ETC dengan <i>Inlet mass flow 0.01kg/s</i>	55
Tabel 10 simulasi sistem yang memakai mekanisme ETC dengan <i>inlet volume flow 0.001m³/s</i>	57
Tabel 11 simulasi sistem yang memakai mekanisme ETC dengan <i>inlet velocity 3.143m/s</i>	59
Tabel 12 Perbandingan tekanan dengan <i>inlet mass flow 0.01kg/s</i>	62
Tabel 13 Perbandingan temperature dengan <i>inlet mass flow 0.01kg/s</i>	63
Tabel 14 Perbandingan temperature dengan <i>inlet mass flow 0.01kg/s</i>	64
Tabel 15 Perbandingan tekanan dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	66
Tabel 16 Perbandingan temperature dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	67
Tabel 17 Perbandingan kecepatan dengan <i>inlet volume flow 0.001 m³/s</i>	68
Tabel 18 Perbandingan tekanan dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s</i>	69
Tabel 19 Perbandingan temperature dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s</i>	70
Tabel 20 perbandingan kecepatan dengan <i>inlet velocity 3.143 m/s</i>	71

BAB I

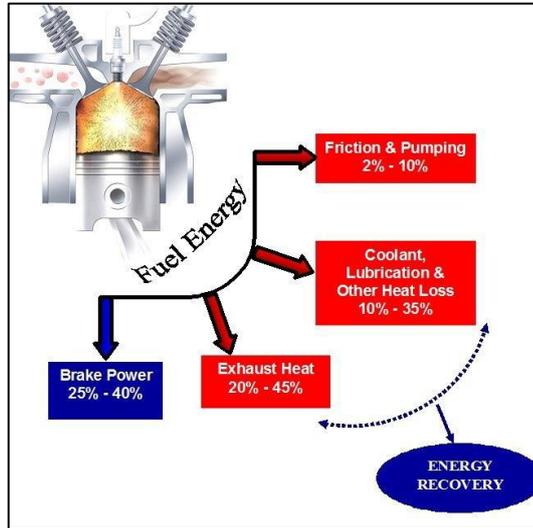
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejak transportasi mulai menjadi kebutuhan publik, *internal combustion engine (ICE)* atau mesin pembakaran dalam (MPD) menjadi sumber tenaga dalam menggerakannya. Mesin pembakaran dalam ini menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar, meskipun penggunaan bahan bakar fosil akhirnya memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Sampai saat sekarang ini pengembangan *engine* masih terus dilakukan dengan tujuan untuk menekan pemakaian bahan bakar fosil. Menurut Dr. Thomas Waber dari *marchedes benz* dalam Srithar Rajoo (2014 : 1) setidaknya 90% kendaraan digerakan oleh mesin pembakaran dalam pada tahun 2020. Mesin pembakaran dalam terus dikembangkan sehingga dijanjikan dalam 30 tahun kedepan dapat menekan konsumsi bahan bakar fosil 30-45% untuk kendaraan penumpang dan 25% untuk kendaraan komersil.

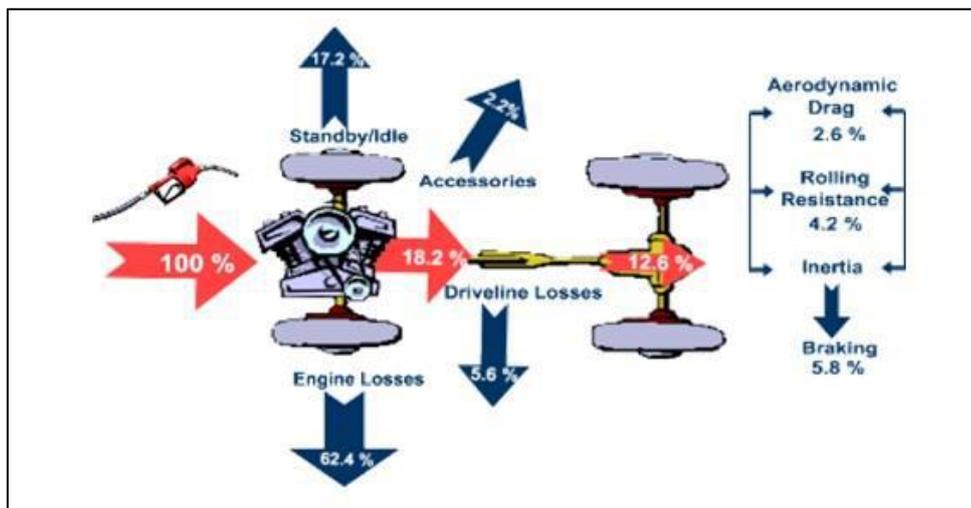
Seperti yang dinyatakan Srithar Rajoo (2014 : 2) Dari keseluruhan bahan bakar yang terbakar di ruang bakar tidak semua energi yang dihasilkan terpakai untuk menggerakkan kendaraan. Pada gambar di bawah dapat diketahui bahwa sebagian besar energi yang dihasilkan oleh energi panas tidak termanfaatkan. Dapat dilihat efisiensi konversi energi berkisar antara 25%-40% sedangkan yang lainnya 20%-45% energi panas yang

terbuang, 10%-35% energi terbuang karena sistem pendingin dan sistem pelumasan 2%-10% energi terbuang karena gesekan.



Gambar 1. Persebaran energi setelah proses pembakaran
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:3)

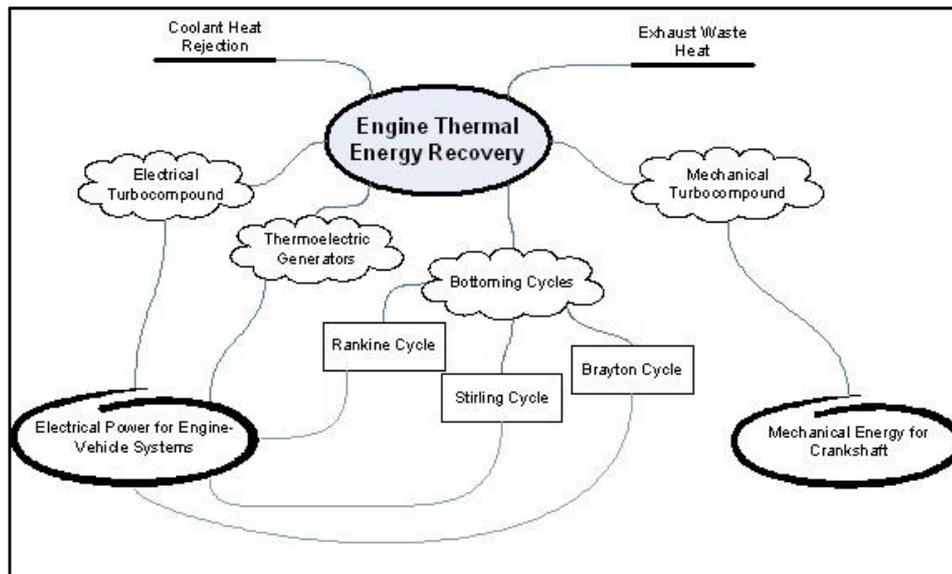
Pada akhirnya energi yang akan menggerakkan roda kendaraan kurang dari 15% keseluruhan energi yang dihasilkan. Hal itu dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. Besarnya energi yang keluar untuk menggerakkan roda
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:4)

Total energi yang sampai kepada roda diperkirakan 12.6%, yang lainnya hilang pada *engine loss* 62.4%, *idle* mesin 17.2% aksesoris 2.2% dan pemindah tenaga 5.6%. Tidak semua energi yang hilang tersebut dapat dimanfaatkan kembali.

Banyaknya energi yang terbuang menandakan bahwa masih banyaknya peningkatan yang perlu dilakukan pada kendaraan. Untuk mengatasi hal di atas banyak peneliti yang mengembangkan sistem *recovery energy* yang bertujuan untuk memanfaatkan kembali energi yang terbuang. Sebagai pemanfaatan energi terbuang adalah dengan meakai *Regenerative Shock Absorber* yang memanfaatkan getaran *shock absorber* pada kendaraan menjadi energi listrik (Wagino, Amin, et al., 2020). Sebagai contoh lain merujuk pada gambar 2 untuk mengatasi banyaknya energi yang terbuang ketika mesin idel maka dikembangkan sistem *idling stop*, yaitu suatu mekanisme yang bekerja ketika kendaraan dihentikan sejenak saat sedang berjalan, saat *idling stop* bekerja maka mesin kendaraan akan mati, mesin dapat menyala lagi dengan memainkan *handle gas*. Sistem ini bertujuan mengurangi konsumsi bahan bakar yang berlebih saat mesin tidak dijalankan. Selain itu ada juga mekanisme *exhaust energy recovery* yang bekerja dengan memanfaatkan gas buang.



Gambar 3. Diagram *engine recovery energy*
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:6)

Exhaust energy recovery merupakan salah satu metode kunci untuk meningkatkan efisiensi termal pada mesin bakar. Salah satu sistem yang mulai dikembangkan dibidang ini yaitu *turbo compounding system*. Sistem ini berdasarkan energi yang dihasilkannya terbagi menjadi 2 macam yaitu *Mechanical Turbo Compounding* (MTC) yang akan menghasilkan energi mekanik kemudian disalurkan ke *engine*, dan *Electric Turbo Compounding* (ETC) yang akan menghasilkan energi listrik yang bisa dimanfaatkan untuk sistem pengisian. Menurut Pernyataan Srithar Rajoo, dkk (2014 : 7) Pemanfaatan *Electric Turbo Compounding* dapat membantu pengguna kendaraan dalam memenuhi suplai energi listrik kendaraan. pemanfaatan ETC dapat menekan konsumsi bahan bakar antara 3%-10%. Sebelumnya sistem ETC diterapkan dan dikembangkan pada mesin *diesel*, namun sekarang telah mulai diujicobakan pada mesin bensin.

Penelitian terkait performa kerja ETC, bagaimana cara pengoptimalan kerja pada mekanisme ETC sudah banyak dilakukan, baik pengujian secara langsung maupun pengujian dengan menggunakan simulasi. Dalam hal ini belum banyak ditemukan bagaimana pengaruh penggunaan ETC terhadap aliran gas buang pada kendaraan berdasarkan latar belakang di atas peneliti sangat berminat dalam melakukan penelitian tentang hal tersebut.

B. Identifikasi Masalah

1. Kebutuhan masyarakat akan kendaraan yang terus meningkat, diiringi dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar untuk kendaraan
2. Rendahnya efisiensi energi pada kendaraan
3. Besarnya energi yang terbuang pada kendaraan yaitu 20%-45% energi panas yang terbuang, 10%-35% energi terbuang karena sistem pendingin dan sistem pelumasan 2%-10% energi terbuang karena gesekan.
4. Dengan pemasangan mekanisme ETC pada *Engine* tentu hal ini dapat memberikan perubahan terhadap tekanan dan kecepatan aliran gas buang.

C. Batasan Masalah

Penelitian dilakukan dengan melihat pengaruh penggunaan mekanisme ETC terhadap aliran gas buang suatu kendaraan. Dalam penelitian ini penulis hanya membahas pengaruh gas buang dengan dan tanpa mekanisme ETC terkait dengan perubahan tekanan, kecepatan dan suhu. Penulis tidak akan membahas pengaruh mekanisme ETC terhadap pemasangan pada *engine*.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu menemukan perbedaan aliran tekanan kecepatan dan temperatur gas buang antara *engine* yang menggunakan mekanisme ETC dan *engine* yang tidak menggunakan mekanisme ETC.

E. Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mengetahui perubahan apa saja yang terjadi pada gas buang antara mesin yang menggunakan mekanisme ETC dan mesin yang tidak menggunakan ETC, sehingga dapat dijadikan referensi untuk pengembangan ETC kedepannya.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang Diharapkan dari melakukan penelitian ini yaitu bisa menjadi salah satu langkah dalam mengembangkan pemanfaatan energi terbuang yang terdapat pada kendaraan dengan menggunakan mekanisme ETC

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Kajian Teori

1. Motor Bakar

a. Penjelasan Motor Bakar

Di dalam motor bakar terdapat energi panas dan bahan bakar yang diubah menjadi energi mekanik, yang didapat melalui proses pembakaran. Dalam proses pembakaran setidaknya dibutuhkan campuran udara dan bahan bakar dan kompresi tinggi. Pembakaran akan menimbulkan panas yang menghasilkan tekanan yang kemudian menghasilkan tenaga mekanik. Dalam pemanfaatannya secara umum bahan bakar yang digunakan pada mesin pembakaran adalah bensin dan solar

1) Mesin bensin

Merupakan *engine* yang menggunakan bahan bakar bensin, paraffin atau gas. Bahan yang mudah terbakar atau mudah menguap. Menurut Daryanto (2008: 3-4) Campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam ruang bakar dan dikompresikan oleh piston sehingga tekanan dalam ruang bakar menjadi 8-15 kg/cm². Kemudian bahan bakar diberi loncatan bunga api yang berasal dari busi agar dapat terbakar. Kecepatan pembakaran campuran udara dan bahan bakar yaitu 10 sampai 25 meter/detik temperatur udara naik hingga 2000-2500°C dan tekanan meningkat menjadi 30-40 kg/cm². Inilah yang menghasilkan usaha pada kendaraan.

2) Mesin *diesel*

Menurut Daryanto (2008: 3-4) Mesin *diesel* menggunakan bahan bakar yang lebih berat yaitu solar. Pada mesin *diesel* hanya udara yang masuk kedalam ruang bakar dan dikompresikan oleh torak. Tekanan naik hingga 30-50 kg/cm², suhu naik menjadi 700-900°C. Suhu udara kompresi berada di atas suhu udara penyalaaan. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam bahan bakar yang terkompresi sehingga terjadi pembakaran tekanan naik menjadi 70-90 kg/cm².

b. Prinsip Kerja Motor Bakar

Engine bekerja dengan gerakan piston bolak balik (naik-turun). *Engine* bekerja dengan prinsip 4 langkah (tak) dan 2 langkah (tak), satu langkah sama dengan satu gerakan piston yaitu gerakan piston naik dan turun. Berarti untuk mesin 4 tak dapat diartikan satu usaha yang dihasilkan oleh *engine* diselesaikan dalam 4 kali piston turun-naik atau 2 kali putaran poros engkol. *Engine* 2 tak menghasilkan 1 kali usaha dalam 2 kali gerakan piston turun naik. Saat sekarang ini mesin yang banyak digunakan yaitu mesin 4 langkah karena mesin 4 langkah menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dari pada mesin 2 langkah. Adapun langkah kerja dari mesin 4 tak sebagai berikut.

1) Langkah hisap

Piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), katup buang tertutup katup masuk terbuka, terjadi kevakuman saat

piston bergerak ke bawah, sehingga campuran udara dan bahan bakar (pada mesin bensin) masuk ke dalam ruang bakar

2) Langkah kompresi

Piston bergerak dari TMB ke TMA katup masuk dan katup buang tertutup. Udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar dikompresikan, sebelum piston mencapai TMA busi memercikan bunga api dan terjadi pembakaran di dalam ruang bakar.

3) Langkah usaha

Setelah terjadi pembakaran maka piston terdorong ke bawah dan menghasilkan usaha. Saat ini kedua katup masih tertutup.

4) Langkah buang

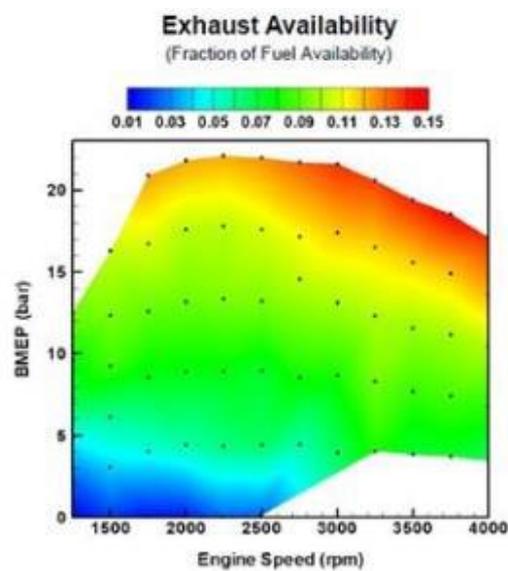
Pada langkah buang katup buang terbuka dan katup masuk tertutup, piston bergerak dari TMA ke TMB dan mendorong sisa pembakaran menuju saluran buang.

Penjelasan di atas merupakan prinsip kerja mesin 4 tak pada motor bensin, untuk motor *diesel* secara keseluruhan prinsipnya hampir sama tapi terdapat sedikit perbedaan pada langkah hisap dan langkah kompresi. Pada langkah hisap yang masuk ke dalam ruang bakar hanya udara saja. Kemudian pada langkah kompresi udara yang ada di ruang bakar dikompresikan, sebelum piston mencapai TMA bahan bakar dikabutkan ke dalam ruang bakar, karena tekanan yang sangat tinggi di dalam ruang bakar bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar dengan sendirinya.

2. *Loss Energy*

a. *Loss Energy Pada Kendaraan*

Energi panas pada kendaraan tercipta akibat dari pembakaran campuran udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar. Pada keadaan normal panas yang dihasilkan terbuang bersama gas buang, sistem pendingin, sistem pelumas.

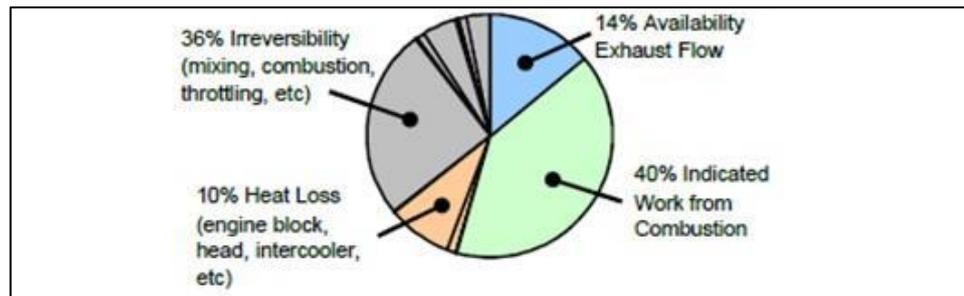


Gambar 4. Perbandingan jumlah panas dengan putaran mesin
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:5)

Menurut Srithar Rajoo, dkk (2014:5) Pada gambar di atas dapat dilihat panas yang dihasilkan sebanding dengan putaran mesin. Artinya semakin tinggi putaran *engine* maka semakin banyak energi panas yang dapat dihasilkan oleh *engine* tersebut. Kebanyakan teknologi *recovery* energi mampu bekerja pada temperatur pembakaran gas buang, yang mengandung kira-kira setengah energi panas yang terbuang dari mesin, sedangkan sebagian lagi terbuang melalui pertukaran panas dengan *liquid*

sistem pendingin. Kebanyakan energi panas yang tak terpakai diakibatkan oleh keterbatasan pada siklus termodinamika pada *engine*.

Ricardo PLC dalam penelitiannya menjelaskan banyak cara yang dapat digunakan dalam menggunakan energi panas dari mesin.

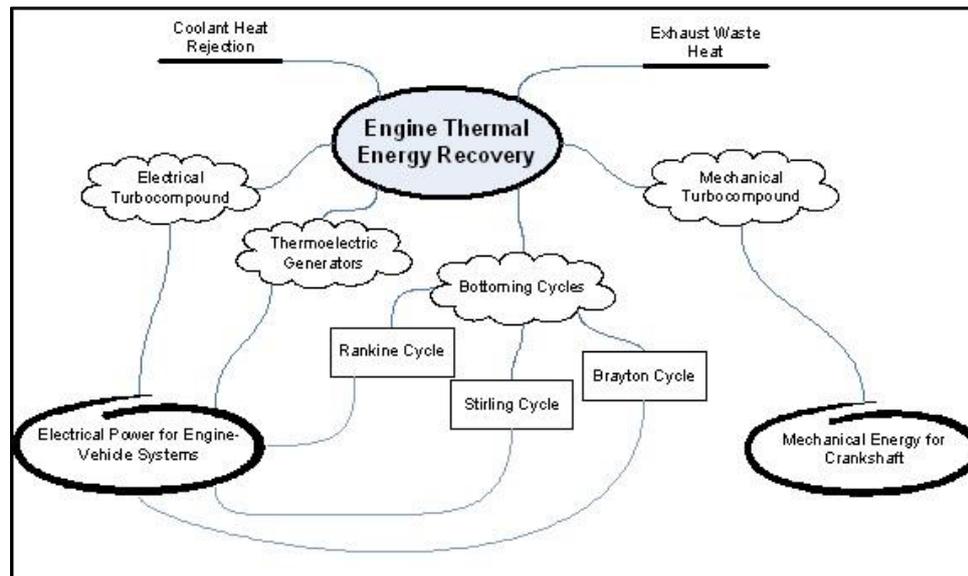


Gambar 5. Diagram persentase energy pada kendaraan
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:4)

Dari grafik di atas dapat dilihat sekitar 14% potensi energi *exhaust* dapat digunakan dari jumlah terbesar dari *Break Mean Effective Value* (BEMV). Ricardo PLC dalam Wagino dkk (2020) juga menjelaskan pada penelitiannya terdapat berbagai macam cara yang dapat digunakan dalam memanfaatkan panas mesin untuk dijadikan energi baru.

b. Mekanisme *Recovery Energy*

Untuk memanfaatkan energi yang terbuang pada kendaraan, saat ini banyak dikembangkan cara untuk memanfaatkan energi terbuang pada kendaraan perhatikan skema dibawah ini.



Gambar 6. Peta pemanfaatan *exhaust* energi pada kendaraan.
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:6)

1) *Bottoming cycles*

Menurut Srithar Rajoo, dkk (2014 : 6) Teknologi ini memanfaatkan siklus termodinamika untuk memanfaatkan energi panas dari gas buang. Siklus ini berpusat pada pertukaran panas dari pertukaran panas gas buang dengan untuk menggerakkan fluida yang akan menggerakkan turbin. *Research* telah menunjukkan *bottoming cycle* dapat menghasilkan efisiensi lebih baik 3-6%. Ketika digunakan pada mesin pembakaran dalam. Umumnya sistem ini dipakai pada alat berat.

2) *Thermoelectric generator*

Menurut Srithar Rajoo, dkk (2014 : 8) Termoelektrik generator langsung mengubah panas *exhaust* menjadi energi listrik menggunakan *seeback effect* yang mana listrik dihasilkan dari 2 buah batang metal yang memiliki perbedaan suhu. *Research* menunjukkan sistem ini dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar sekitar 2%.

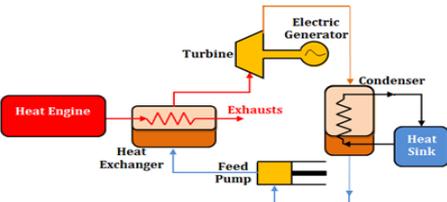
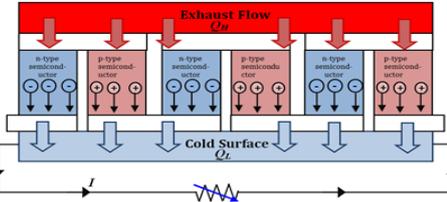
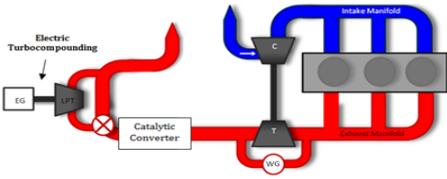
3) *Mechanica lturbo compound*

Menurut Wagino dkk (2020 : 4) “*This system utilizes mechanical turbo movement driven by exhaust gases to produce new energy on the vehicle*” . Mekanisme *Turbo-compounding* digerakan oleh turbin yang memanfaatkan energi dari aliran gas buang kendaraan. Pemanfaatan turbin tidak menyebabkan *temperature drop* tidak seperti siklus *recoveri* panas termodinamika. Turbin beroperasi karena sisa pembakaran pada kerjanya. Turbin secara teknis terhubung dengan *crank shaft* mesin, agar bisa memakai kembali tenaga yang diperoleh. Penelitian telah menunjukkan penekanan konsumsi bahan bakar meningkat antara 3%-5%. Tergantung penerapannya. Sistem ini biasanya dipakai pada mesin *diesel* yang berukuran besar. Dengan kecepatan gerak yang rendah seperti pada alat berat

4) *Electric turbo compounding*

Menurut Wagino dkk (2020 : 4) *Electric turbo compounding*, mirip dengan *mechanical turbo compounding* perbedaanya yaitu sistem ini bertujuan untuk menghasilkan energi listrik dengan cara memasang *copling* dengan generator putaran tinggi. Energi yang dihasilkan dari sistem ini dapat disimpan dalam baterai, ataupun untuk memenuhi suplay kebutuhan kelistrikan pada kendaraan ketika sedang beroperasi. Teknologi ini telah memperlihatkan bahwa sistem ini dapat menghemat energi antara 3%-10% dibandingkan dengan *engine* yang tidak menggunakan

mekanisme ini. Sistem ini pastinya lebih simpel untuk diterapkan pada mesin ukuran kecil dan sedang.

EXHAUSTS ENERGY RECOVERY SYSTEMS	WORKING PRINCIPLE	ADVANTAGE	DISADVANTAGE
	<ul style="list-style-type: none"> In the heat exchanger, a highly compressed organic fluid absorbs exhausts energy The organic fluid exits as superheated vapour and expands in the turbine The remaining energy discharges to the surrounding in the condenser before it is compressed by a feed pump 	<ul style="list-style-type: none"> No increase in pumping work Large benefit in fuel consumption 	<ul style="list-style-type: none"> Installation problem Hazardous liquid Cost ineffective
	<ul style="list-style-type: none"> Electricity is generated from the Seebeck effect Highly doped n-type (excess electron) and p-type (defiance electrons) semiconductor place between the hot and cold surface Temperature difference between the surface of exhausts pipe and thermoelectric material produces electric current 	<ul style="list-style-type: none"> Lightweight Large variety of application areas No increase in pumping work High reduction of BSFC 	<ul style="list-style-type: none"> Large temperature difference between surfaces (extra load on the cooling system) Expensive Poor conversion efficiency
	<ul style="list-style-type: none"> An additional turbine is installed downstream of the main turbine At the exit of the main turbine, the exhaust pressure is low Secondary turbine has to recover energy at low pressure Recovered energy is used to power electric auxiliaries or to mechanically add energy to the engine 	<ul style="list-style-type: none"> Bolt-on unit which can be added to the powertrain Low mass flow capacity 	<ul style="list-style-type: none"> Increase in pumping work Low energy available Electric generator limitation

Gambar 7. Perbandingan tiga mekanisme *exhaust energy recovery*
Sumber: Srithar Rajoo, dkk (2014:9)

Penerapan ketiga teknologi di atas kepada kendaraan, saat ini sedang diadakan penelitian lebih mendalam dengan tujuan menemukan solusi yang tepat dalam memanfaatkan *exhaust energy*. Pada tabel di atas dapat dilihat perbandingan antara *Organic Rankine Cycle* (ORC), mekanisme termo *electric*, dan yang terakhir mekanisme *turbo compounding*, berikut penjelasannya.

a) *Organic Rankine Cycles* (ORC).

Menurut Srithar Rajoo, dkk (2014:9) Saat ini ORC menjadi hal yang paling menguntungkan dari siklus Rankine dalam

pengaplikasiannya pada kendaraan karena dapat meningkatkan efisiensi termal tanpa adanya tekanan balik pada gas buang. *Research* tentang siklus *rankine* terhadap mesin pembakaran dalam (MPD) sudah berlansung selama lebih dari 30 tahun. Data terbaru mengenai sistem ini diterapkan pada mesin 4 silinder dapat meningkatkan efisiensi sekitar 15%. Kebanyakan pemakaian siklus *rankine* diterapkan pada *engine stasioner* contohnya gen set.

b) *Termo electric*

Menurut Srithar Rajoo, dkk (2014:9) *Termo electric* mirip dengan siklus Rankine, sistem termal elektrik yang tidak menyebabkan *pressure back* pada gas pemanfaatan gas buang. Prinsip kerja alat ini menggunakan *peltier see-back effect*, yang mana energi termal di ubah menjadi energi listrik kebanyakan material yang digunakan yaitu Silicon Germanium, Lead Telluride, Bismuth Telluride and New Oxide material seperti $\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$, pemilihan material ini dengan sifat termal masing masing bahan.

c) *Turbo compounding*

Dengan menambahkan generator turbin pada sistem *turbo charge*. Sistem ini terdiri secara umum terbagi kepada 2 hal *electrick turbo compounding* dan *mechanical turbo compounding*. Perbedaanya *mechanical turbo compounding* mengubah energi yang didapat dari gas buang menjadi energi mekanik yang terhubung langsung dengan *crank shaft* yang terhubung sebuah

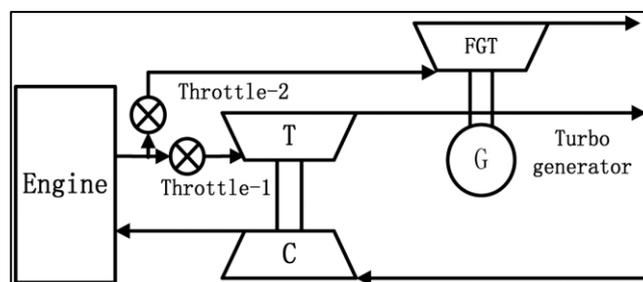
mekanisme *gear*. Sedangkan *electric turbo compounding* mengubahnya menjadi energi listrik melalui bantuan sebuah generator listrik yang dihubungkan dengan turbin.

c. Jenis *Electric Turbo Compounding*

Menurut Wheilin Zhuge, dkk (2011 : 2) elektrik turbo compounding dibagi lagi menjadi 2 tipe yaitu:

1) *Electric turbo compounding system* dengan FGT (*Fixed Geometri Turbin*)

ECT sistem pada mesin bensin dapat dilihat pada gambar. Sistem ini memiliki turbo generator yang dipasang parallel dengan *turbocharger*, gas buang dibagikan di antara *turbo charger* dan *turbo generator* yang dikontrol oleh *throthle* 1 dan 2 pada beban rendah maupun *engine* beban tinggi. *Throttle* 1 akan akan terbuka sebagian atau tertutup penuh untuk mentransfer energi gas buang ke turbin. Pada *engine* beban tinggi atau beban rendah *throttle* 2 akan terbuka sebagian atau tertutup sepenuhnya untuk memastikan aliran yang masuk ke turbi cukup.

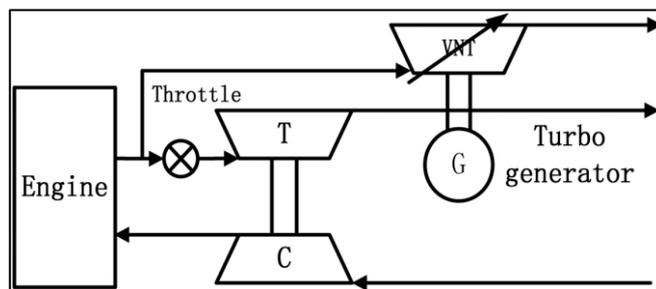


Gambar 8. Susunan mekanisme ETC dengan FGT

Sumber. Wheilin Zhuge, dkk (2011 : 2)

2) *Electric turbo compounding system dengan VNT (Variable Nozzle Turbin)*

Dengan tujuan untuk meminimalkan energi *loss turbo generator* digerakan oleh *power turbine* dan *trotel 2* dilepas. Pada mesin beban rendah maupun putaran tinggi *trotel* akan terbuka atau tertutup untuk memasukan aliran gas buang. Pada mesin putaran tinggi atau rendah VNT akan terbuka atau tertutup untuk memastikan aliran yang melewati turbin cukup.

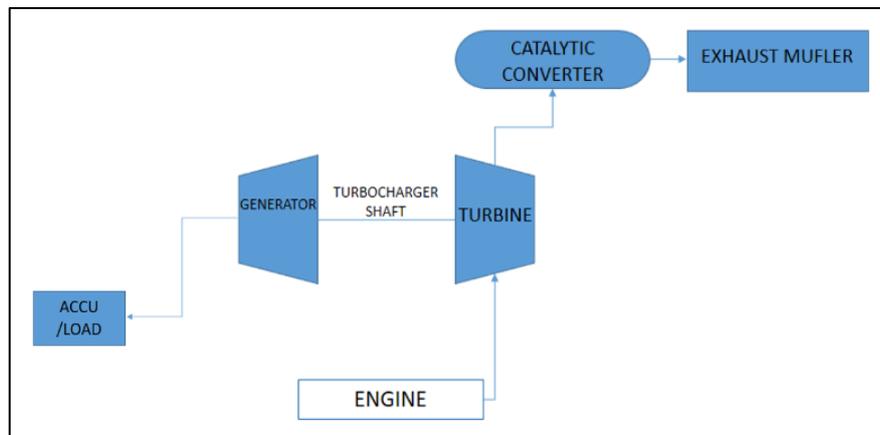


Gambar 9. Susunan mekanisme ETC dengan VNT
Sumber. Wheilin Zhuge, dkk (2011 : 3)

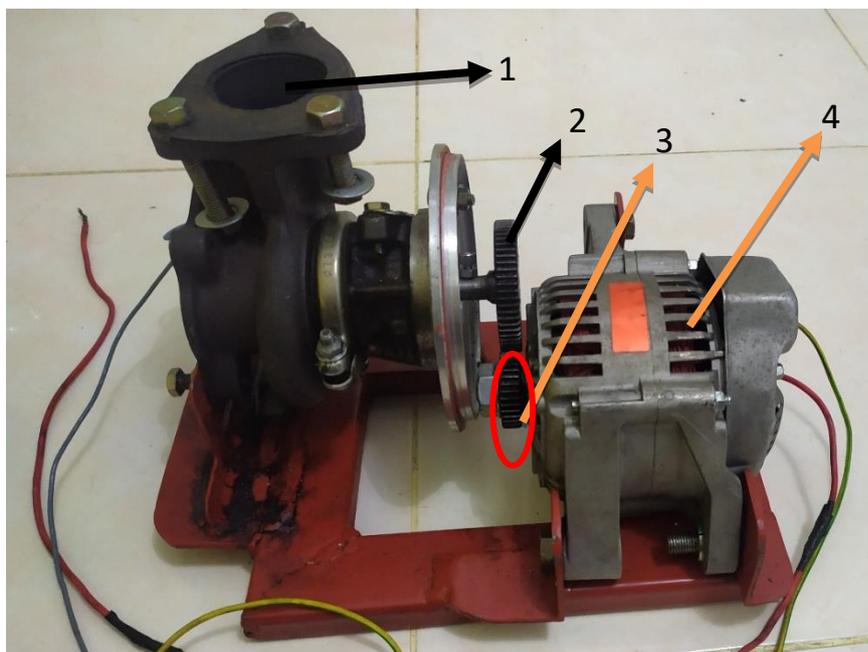
Tantangan yang dihadapi pada ECT terdapat pada kesulitan dalam pembuatan *throttle*. *Trottle* bekerja pada suhu yang tinggi, *throttle* perlu dirancang sedemikian mungkin agar tidak rusak/macet ketika bekerja pada suhu tinggi. Kecepatan generator listrik melebihi 6000 rpm, generator dengan putaran tinggi membutuhkan *bearing* putaran tinggi yang mana hal ini sangat susah untuk dibuat.

d. Elektronik Turbo Compounding yang diteliti

Pada penelitian yang telah dilakukan di Universitas Negeri Padang oleh Wagino, dkk pada tahun 2019 sebuah mekanisme turbocharger yang telah dimodifikasi dipasangkan dengan generator listrik seperti skema di bawah:



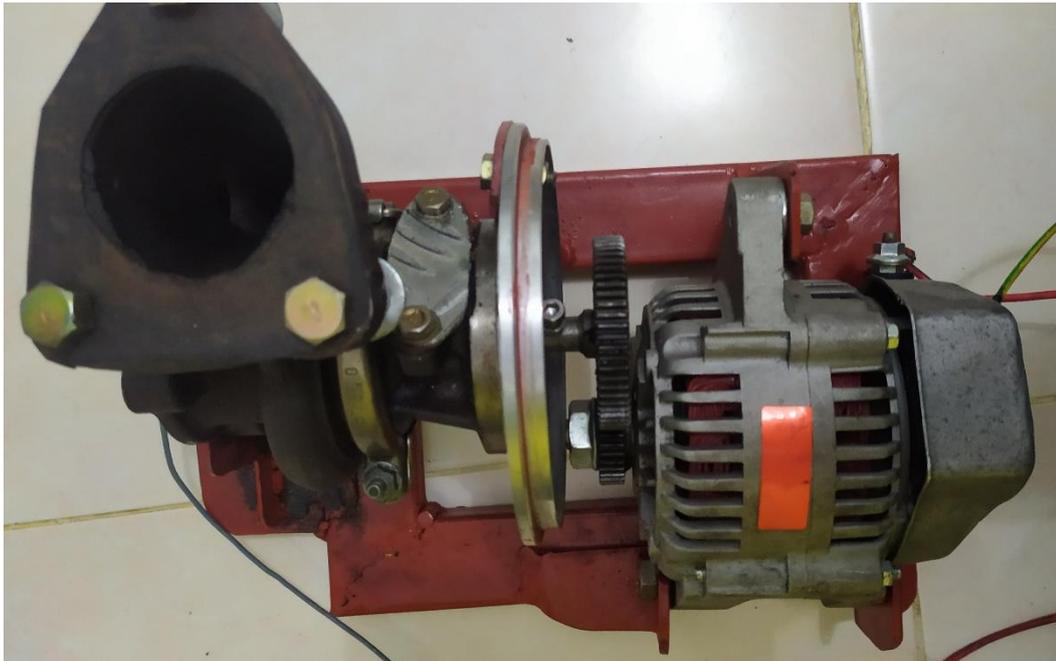
Gambar 10. Skema pemasangan ETC pada *Engine Stand*
Sumber. Wagino, dkk (2020 : 3)



Gambar 11. mekanisme ETC tampak depan

Keterangan gambar

- No 1. = saluran masuk gas buang setelah *exhaust manifold*
 No 2. = *output shaft turbocharger* yang dipasangkan gear
 No 3. = *input gear generator*
 No 4. = generator listrik



Gambar 12. mekanisme ETC tampak atas

Dengan berbantuan gambar diatas dapat dipahami cara kerja mekanisme ETC yang dirancang oleh Wagino, DKK yaitu, gas buang kendaraan yang keluar dari *exhaust manifold* disalurkan menuju saluran masuk ETC, didalam Mekanisme ETC terdapat fan (kipas) yang akan berputar jika dilewati oleh aliran gas buang. Gas buang yang memiliki tekanan akan memutar fan yang terdapat didalam mekanisme ETC, putaran dari *turbo charger* akan disalurkan menuju generator listrik melalui mekanisme gear. Gear yang di pakai memiliki perbandingan 1:2 maksudnya satu putaran pada gear *turbo charger* akan menghasilkan 2

putaran pada generator listrik. Listrik yang dihasilkan nantinya sebanding dengan putaran mesin, semakin tinggi putaran mesin maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan.

Dalam ujicoba yang telah dilakukan dengan memasang mekanisme ETC pada *engine* stand diperoleh hasil arus listrik sebesar 1,4-1,8 Ampere pada putaran 1200-2000 RPM. Berikut hubungan data kecepatan dan arus yang dihasilkan

Percobaan	Engine speed (RPM)	Current (A)
Percobaan 1	850	1.25
	1200	1.38
	1800	1.45
	2000	1.48
Percobaan 2	850	1.18
	1200	1.35
	1800	1.4
	2000	1.47
Percobaan 3	850	1.29
	1200	1.4
	1800	1.41
	2000	1.46

Tabel 1. arus yang dihasilkan oleh ETC pada percobaan yang telah dilakukan

Sumber. Wagino, dkk (2020 : 7)

Jika dibandingkan dengan system pengisian normal tentusaja mekanisme ETC menghasilkan jumlah arus yang berbeda. Berikut perbandingan pada sistem ETC dan sistem pengisian normal

Attemp	Engine Speed (RPM)	ETC Mekanism	Car
		Current (A)	Current (A)
I	850	1.25	6.23
	1200	1.38	7.54
	1800	1.45	7.6
	2000	1.48	8.04
II	850	1.18	6.3
	1200	1.35	7.5
	1800	1.4	7.7
	2000	1.47	8
III	850	1.29	6
	1200	1.4	7.3
	1800	1.41	7.8
	2000	1.46	8.1

Tabel 2. Perbandingan arus yang dihasilkan ETC dengan pengisian biasa

Sumber. Wagino, dkk (2020 : 9)

Pada tabel perbandingan dapat kita lihat terjadi begitu banyak perbedaan antara sistem ETC dengan sistem pengisian biasa. Pada sistem ETC *engine* putaran 850-2000 RPM menghasilkan daya 1,4A-1,8A sedangkan pada sistem pengisian biasa menghasilkan daya 6.23-8.1A pada putaran mesin yang sama. Meskipun demikian mekanisme ETC dapat menjadi salah satu media yang dapat membantu dalam memenuhi suplai kebutuhan kelistrikan pada kendaraan. Di mana semakin berkembangnya transportasi *modern* pengendara semakin dituntut akan kebutuhan kelistrikan kendaraan yang lebih besar.

3. Fluida

a. Pengertian Fluida

Dalam Sarditjo (35) Fluida adalah zat yang dapat mengalir. Kata Fluida mencakup zat car, air dan gas karena kedua zat ini dapat mengalir, sebaliknya benda-benda keras atau seluruh zat padat tidak digolongkan kedalam fluida karena tidak bisa mengalir. Minyak pelumas, dan air merupakan contoh zat cair. dan Semua zat cair itu dapat dikelompokan ke dalam fluida karena sifatnya yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Selain zat cair, zat gas juga termasuk fluida. Zat gas juga dapat mengalir dari satu satu tempat ke tempat lain. Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Fluida merupakan salah satu aspek yang penting dalam kehidupan sehari-hari, khususnya dalam bidang automotif, karena banyak dari alat-alat automotif yang memanfaatkan fenomena-fenomena yang ada pada fluida., dalam pemanfaatanya fluida bedasarkan kebebasan gerakanya fluida dibedakan kepada fluida statis (diam) dan fluida dinamis (bergerak)

1) Fluida statis

Fluida Statis adalah fluida yang berada dalam fase tidak bergerak (diam) atau fluida dalam keadaan bergerak tetapi tak ada perbedaan kecepatan antar partikel fluida tersebut atau bisa dikatakan bahwa partikel-partikel fluida tersebut bergerak dengan kecepatan seragam sehingga tidak memiliki gaya geser. Pemanfaatan fluida statis

pada dunia otomotif yaitu pada dongkrak hidrolik yang menggunakan hukum pascal

$$P_1 = P_2 \qquad \frac{f_1}{A_1} = \frac{f_2}{A_2}$$

Di mana:

P = Tekanan

f = gaya

A = luas penampang

2) Fluida dinamis

a) Pengertian

Fluida dinamis adalah fluida (bisa berupa zat cair, gas) yang bergerak. Untuk memudahkan dalam mempelajari, fluida disini dianggap *steady* (mempunyai kecepatan yang konstan terhadap waktu), tak termampatkan (tidak mengalami perubahan volume), tidak kental, tidak turbulen (tidak mengalami putaran-putaran).

b) Jenis Aliran Fluida Dinamis

Lintasan yang ditempuh suatu fluida yang sedang bergerak disebut garis alir. Ada beberapa jenis aliran fluida, berikut ini beberapa jenis aliran fluida.

- i. Aliran lurus atau *laminar* yaitu aliran fluida mulus. Lapisan-lapisan yang bersebelahan meluncur satu sama lain dengan mulus. Pada aliran partikel fluida mengikuti lintasan yang mulus dan lintasan ini tidak saling bersilangan. Aliran laminar dijumpai pada air yang dialirkan melalui pipa atau selang.

- ii. Aliran *turbulen* yaitu aliran yang ditandai dengan adanya lingkaran-lingkaran tak menentu dan menyerupai pusaran. Aliran turbulen sering dijumpai di sungai-sungai dan selokan-selokan
- c) Besaran Dalam Fluida Dinamis
- i. Persamaan debit (aliran)

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{Av\Delta t}{\Delta t} = Av$$

Sumber Sarditjo

Di mana:

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (m²)

V = laju aliran fluida (m/s)

Aliran fluida sering dinyatakan dalam debit aliran

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Di mana:

Q = debit aliran (m³/s)

V = volume (m³)

t = selang waktu (s)

- ii. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida dalam dari suatu tempat ke tempat lain. Air yang mengalir di dalam pipa air dianggap

mempunyai debit yang sama di sembarang titik. Atau jika ditinjau 2 tempat, maka:

$$\text{Debit aliran 1} = \text{Debit aliran 2}$$

iii. Hukum Bernoulli

Menurut Sardijo (2000:70) Hukum *Bernoulli* adalah hukum yang berlandaskan pada hukum kekekalan energi yang dialami oleh aliran fluida. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah tekanan (p), energi kinetik per satuan volume, dan energi potensial per satuan volume memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus. Jika dinyatakan dalam persamaan menjadi:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

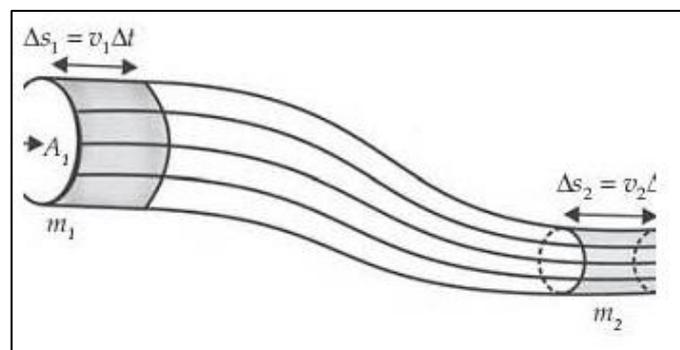
Keterangan:

P = tekanan (Pascal = Pa = N/m²)

ρ = massa jenis cairan (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = ketinggian (m)



Gambar 13. Persamaan kontinuitas
Sumber Sarditjo (71)

Ditinjau dari mekanika aliran, terdapat dua macam aliran yaitu *aliran saluran tertutup* dan *aliran saluran terbuka*. Perbedaan kedua aliran tersebut tersebut adalah pada aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas, sedang aliran saluran tertutup tidak mempunyai permukaan bebas karena fluida mengisi seluruh penampang saluran, sehingga terjadi perbedaan tekanan antara sistem dengan atmosfer.

Apabila saluran terbuka terhadap atmosfer, seperti sungai, gorong-gorong, maka alirannya disebut aliran saluran terbuka (*open channel flow*) atau aliran permukaan bebas (*free surface flow*). Apabila aliran mempunyai penampang penuh seperti aliran melalui suatu pipa, disebut aliran saluran tertutup atau aliran penuh (*full flow*).

b. Fluida Pada Pipa (Saluran Tertutup)

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya benda berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida aliran penuh. Bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat alir di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka.

1. Kerugian pada aliran tertutup

Kerugian yang dimaksud adalah semakin berkurangnya tekanan dan atau kecepatan yang dialami fluida selama mengalir dari Stewart dalam Ismail dkk, 2019 "Kerugian tekanan tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu kerugian minor (*minor losses*), dan kerugian mayor (*major losses*)". Kerugian minor adalah kerugian tekanan aliran fluida yang diakibatkan karena adanya sambungan (*fitting*) pada sistem pipa atau katup (*valve*) bengkokan (*elbow*), saringan (*filter*), percabangan (*tee*), pada bagian masuk dan keluar sistem pemipaan, pembesaran pipa (*expansion*), pengecilan pipa (*contraction*) dan sebagainya, sedangkan kerugian mayor adalah kerugian yang terjadi akibat gesekan aliran fluida dengan dinding pipa, yang tingkat koefisien geseknya tergantung kepada permukaan pipa dan jenis bahan pembuat pipa.

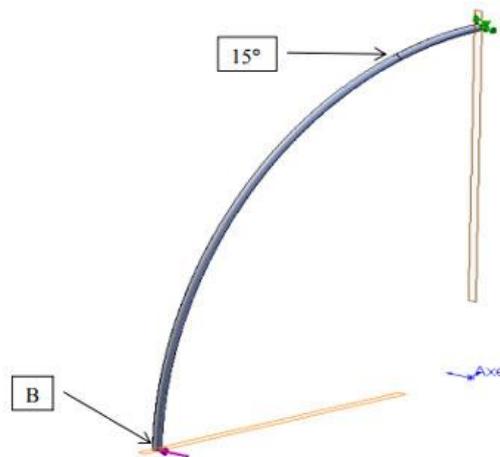
Untuk aliran fluida dalam pipa dapat diukur dengan menggunakan *flowmeter*. Saat ini yang banyak digunakan yaitu *flowmeter ultrasonic*. *Flowmeter* ultrasonik merupakan jenis *flowmeter* yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dalam pengukurannya. Metoda yang umum digunakan adalah metoda waktu tempuh. Metoda ini memiliki prinsip pengukuran yang relatif mudah dibanding dengan metoda lainnya Selain itu juga terdapat metoda *Doppler*, yang digunakan untuk pengukuran aliran yang mengandung partikel padatan. Partikel tersebut berfungsi memberikan gelombang

refleksi untuk memperhitungkan efek *Doppler* yang terjadi. Persoalan muncul ketika aliran fluida yang diukur seperti udara yaitu tidak mengandung padatan dan mengalir dalam kondisi yang mengalami turbulensi.

4. SOLIDWORK

Dalam www.solidsolution.co.uk Solidwork merupakan software CAD (*computer Aided Design*) yang di kembangkan oleh *DASSAULT SYSTEMES*. Solidwork dipergunakan untuk membuat atau merancang part dari permesinan berupa desain 3D. selain itu solidwork juga dapat digunakan untuk melakukan simulasi terhadap objek yang dirancang. Simulasi yang biasanya digunakan yaitu simulasi tekanan, stress, temperature, aliran dll.

Solidwork banyak digunakan dalam manufacturing suatu produk karena tingkat ke-akurasian dari *solidwork* yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan hasil Analisis yang sebenarnya. Jika dibandingkan dengan Analisis sebenarnya maka keakuratan menggunakan software solidwork lebih dari 98% atau kesalahan yang terdapat pada solidwork kurang dari 2%. Dilihat dari situs web resmi dari *solidwork* berikut ini adalah hasil perbandingan pengujian kelenturan dan pengujian tegangan geser



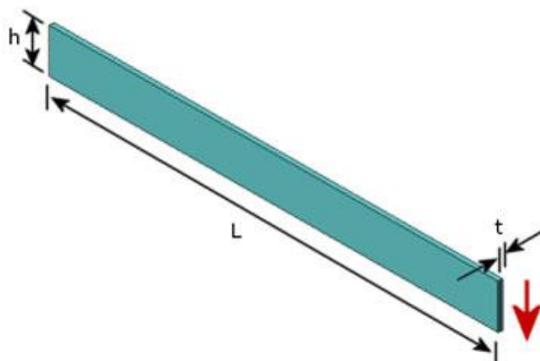
Gambar 14. simulasi pengujian defleksi

Sumber: https://www.solidsolutions.co.uk/Blog/2017/09/So-how-accurate-is-SOLIDWORKS-Simulation/#.X8RZgrNS_IV

		Physical Testing	SOLIDWORKS Simulation	% Difference
Deflection at B (m)		0.001333	00.001344	0.09
At 15deg	M_t (Nm)	74.1180	74.1830	0.09
	M_f (Nm)	-96.5925	-96.4050	0.19

Tabel 3. hasil perbandingan hasil pengujian kelenturan dengan simulasi

Sumber: https://www.solidsolutions.co.uk/Blog/2017/09/So-how-accurate-is-SOLIDWORKS-Simulation/#.X8RZgrNS_IV



Gambar 15. Pengujian tegangan geser

Sumber: https://www.solidsolutions.co.uk/Blog/2017/09/So-how-accurate-is-SOLIDWORKS-Simulation/#.X8RZgrNS_IV

	Analytical	SOLIDWORKS Simulation	% Difference
Deflection at free edge (inch)	0.00133	0.001344	0.83
Average Shear Stress (psi)	10.000	9.877	1.23

Tabel 4. pengujian tegangan geser dengan simulasi

Sumber: <https://www.solidsolutions.co.uk/Blog/2017/09/So-how-accurate-is-SOLIDWORKS-Simulation/#.X8RZgrNS IV>

Pembahasan aliran fluida terkait dengan tabung atau pipa merupakan salah satu permasalahan yang paling sering di analisis dalam *Fluid Dynamic* . Aliran fluida terkait dengan pipa sangat bervariasi dan memiliki sifat yang berbeda tergantung kepada *reynold's number* dari aliran. Yang memperhitungkan kepadatan fluida kecepatan fluida, karakteristik penampang dari pipa seperti diameter, Panjang, dan permukaan yang berhubungan dengan fluida, dan viscositas dinamis dari fluida . selama nilai dari Reynold'S number dari fluida yang melewati silinder sama maka hasil yang akurat dapat di peroleh. SOLIDWORK Flow Simulation dapat mensimulasikan hal tersebut dengan sangat akurat.

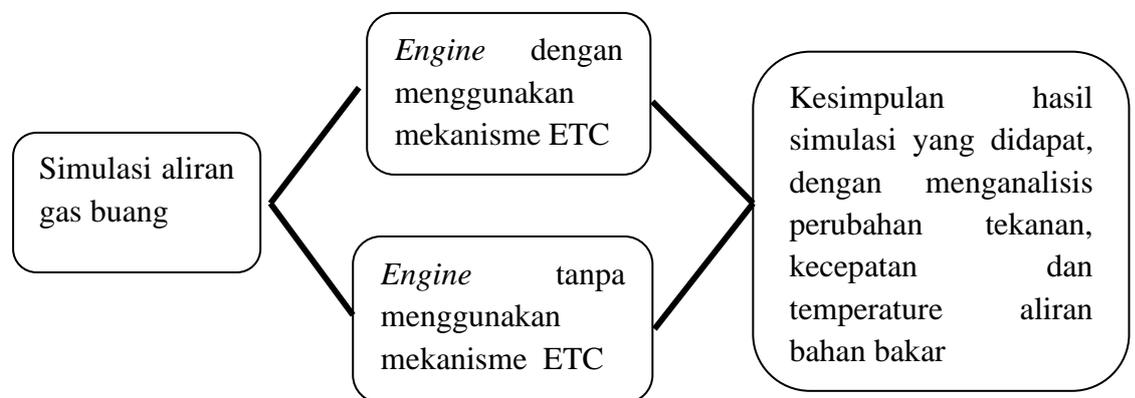
B. Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan ini untuk mendukung atau mempertegas teori-teori yang telah dikemukakan dalam kajian teori di atas adalah

1. Dalam penelitian yang dilakuakn oleh Teja et al., (2016) yaitu analisis simulasi aliran gas buang. penelitian dilakukan melalui simulasi komputer dengan menggunakan *software ansys*. Dari penelitian yang dilakukan oleh Teja et al., (2016) diperoleh hasil. Peningkatan kecepatan aliran gas buang muncul pada sistem pembuangan merupakan akibat berkurangnya luas bidang penampang. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bagaimana aliran gas buang setelah keluar engine hingga ke ujung muffler.
2. Dalam penelitian Agung Widya Utama Chandra, dkk (2015) menggunakan sebuah simulasi aliran fluida menunjukkan hasil pemasangan *turbo charger* pada *engine* menyebabkan naiknya, volume, kecepatan dan tekanan udara yang masuk ke dalam ruang bakar, sehingga pengeluaranyapun berubah. Perubahan tekanan diamati pada suatu titik yaitu *intake cone* dan saluran *exhaust manifold*. Dengan hal tersebut dapat dijadikan suatu acuan bahwa penambahan suatu komponen pada *exhaust manifold* dapat berpengaruh terhadap aliran gas buang.

C. Kerangka Berfikir

Melalui penelitian ini akan diungkapkan besarnya nilai temperatur, kecepatan, dan tekanan fluida gas buang, antara sistem yang menggunakan mekanisme ETC dan sistem yang tidak memakai Mekanisme ETC. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada kerangka berfikir di bawah.



Gambar 16. Kerangka berfikir penelitian

D. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan uraian masalah dan landasan teori di atas, maka dapat diajukan pertanyaan penelitian terkait pengaruh penggunaan mekanisme ETC terhadap aliran gas buang kendaraan.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan mekanisme ETC terhadap aliran gas buang (kecepatan aliran, tekanan, dan suhu) ?

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat diperoleh hasil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemakaian ETC dapat menjadi alternatif dalam memanfaatkan energi yang terbuang. Pada sistem ETC *engine* putaran 850-2000 RPM menghasilkan daya 1,4A-1,8A
2. Secara menyeluruh pemasangan mekanisme ETC pada *engine* dapat meningkatkan temperature, tekanan, dan kecepatan gas buang. Pada sistem yang tidak memakai mekanisme ETC didapat tekanan sebesar 250921.78pa sedangkan untuk sistem yang memakai mekanisme ETC di peroleh tekanan sebesar 309093.83pa peningkatan tekanan pada *exhaust manifold* terjadi sebanyak 27.6%. sedangkan untuk temperature yang awalnya 1398⁰K meningkat menjadi 1441.46, artinya terjadi peningkatan sebanyak 3.1%.
3. Peningkatan temperature dan tekanan terjadi ini terjadi karena setelah gas buang keluar dari *exhaust manifold* masuk ke mekanisme ETC, gas buang melewati turbin terlebih dahulu, didalam Mekanisme ETC terjadi penumpukan gas buang sementara sebelum keluar karena terhambat oleh turbin, penumpukan tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan gas buang, peningkatan tekanan gas buang dapat memicu peningkatan temperature didalam *exhaust manifold*.

4. Pada *engine* yang tidak menggunakan mekanisme ETC gas buang langsung mengalir ke pipa pembuangan tanpa mengalami hambatan sehingga tekanan dan temperature fluida yang ada di sekitar *exhaust manifold* lebih rendah
5. Peningkatan kecepatan aliran gas buang mulai terjadi setelah gas buang keluar dari turbin, karena gas buang terdorong oleh turbin.

B. Saran

Pemasangan mekanisme ETC pada kendaraan dapat menyebabkan peningkatan temperature dan peningkatan tekanan di dalam *exhaust manifold* yang mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu mesin, Sesuai dengan kesimpulan diatas maka penulis mengajukan beberapa saran.

1. untuk mengatasi agar tidak terjadinya *over heating* maka pemakaian ETC dibatasi dalam jangka waktu tertentu saja.
2. Jika memakai mekanisme ETC maka disekitar *exhaust manifold* dapat di tambahkan sistem pendingin untuk mencegah terjadinya *over heating*
3. Sedangkan untuk mengatasi tekanan balik pada saluran pembuangan Pemakaian ETC dapat di pindahkan posisinya dari posisi pemasangan yang sekarang, di usahakan untuk menjauhi posisi *exhaust manifold*.

DAFTAR PUSTAKA

- ANALISA ALIRAN FLUIDA UDARA MASUK TERHADAP KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN DIESEL ENGINE - Google Search.* (n.d.). Retrieved January 29, 2021, from <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=ANALISA+ALIRAN+FLUIDA+UDARA+MASUK+TERHADAP+KEBUTUHAN+UDARA+PEMBAKARAN+DIESEL+ENGINE>
- Chandra, A. W. U. (2015b). *Analisa aliran fluida udara masuk terhadap kebutuhan udara pembakaran diesel engine* [PhD Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- <https://www.zarr.com>, W. designed and developed by Z.-. (n.d.). *So how accurate is SOLIDWORKS Flow Simulation?* Retrieved January 29, 2021, from <https://www.solidsolutions.co.uk/blog/2017/10/so-how-accurate-is-SOLIDWORKS-flow-simulation/>
- Maksum, H., & Purwanto, W. (2012). *Teknologi motor bakar*. UNP press.
- Martínez-Martínez, S., Leal-Garza, R., Sánchez-Cruz, F., & Villarreal, E. (2010). CFD analysis of the effect of the exhaust manifold design on the close-coupled catalytic converter performance. *Journal of KONES*, 17, 303–311.
- Pesyridis, A., & Jye, A. (2013). Effects of Mechanical Turbo Compounding on a Turbocharged Diesel Engine. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2013-01-0103>
- Rajoo, S., Romagnoli, A., Martinez-Botas, R., Pesiridis, A., Copeland, C., & Bin Mamat, A. M. I. (2014). Automotive exhaust power and waste heat recovery technologies. *Automotive Exhaust Emissions and Energy Recovery*, 265–281.
- Rajoo, S., Romagnoli, A., Ricardo, M.-B., Pesyridis, A., Copeland, C., & Bin Mamat, A. (2014). *Automotive Exhaust Waste Heat Recovery Technologies*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4809.0565>
- So how accurate is SOLIDWORKS Simulation?* (n.d.). Retrieved January 29, 2021, from https://www.solidsolutions.co.uk/Blog/2017/09/So-how-accurate-is-SOLIDWORKS-Simulation/#.X82Sz7NS_IX
- SUYANTO, W. (1989). *Teori motor bensin*. DEPDIKBUD.
- Teja, M. A., Ayyappa, K., Katam, S., & Anusha, P. (2016). Analysis of exhaust manifold using computational fluid dynamics. *Fluid Mech Open Acc*, 3(1), 1000129.