

Review : Pemanfaatan Limbah Panas Dari Internal Combustion Engine Sebagai Energi Terbarukan Melalui Proses Pemulihan Gas Buang

Aji Digdoyo^{*)}, Tri Surawan, Djamhir Djamruddin, Erma Yuniati dan Ardiyan Anjas Saputra

Prodi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Jalan Raya Bogor Km 28.8,
Cimanggis Jakarta Timur

*) *Corresponding author:* digdoyoaji@gmail.com

Abstract

The development of the Internal Combustion Engine is always related to efforts to improve engine performance, thermal efficiency and reduce air pollution, but until now the thermal efficiency that can be utilized is only about 25-30%, while the rest is wasted in various forms such as: 30-35% is wasted as waste heat, 30-35% is wasted through the cooling system, and 5-10% is wasted due to friction. Seeing the amount of energy that is wasted or not being utilized and considering the decreasing sources of energy derived from fossils and the high cost of energy use. Utilization of waste heat can be carried through the process of recovering exhaust gases so that waste heat can be used as an alternative energy source and through the recovery of waste heat, a technology that has high thermal efficiency is obtained, is able to reduce the use of fossil fuels, and produces energy sources. alternative and environmentally clean energy. The focus of this review is the development of waste heat recovery technology from Internal Combustion Engines which are converted directly into electrical energy such as a Thermo Electric Generator (TEG), or waste heat which is converted indirectly to electrical energy but through mechanical conversion such as: Organic Rankine Cycling, Vapor Absorption Cycle so that this electrical energy can be applied to transportation vehicles. It is hoped that the results of this review can be used further by researchers working in the research and development sector from Internal Combustion Engines

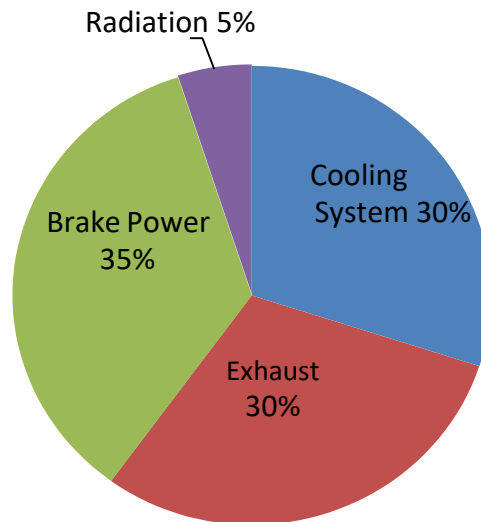
Abstrak

Perkembangan *Internal Combustion Engine* selalu terkait usaha untuk meningkatkan kinerja mesin, efisiensi *thermal* dan penurunan polusi udara, namun sampai saat ini efisiensi *thermal* yang bisa dimanfaatkan hanya sekitar 25-30%, sedangkan sisanya terbuang dalam berbagai bentuk seperti : 30-35% terbuang sebagai limbah panas, 30-35% terbuang melalui sistem pendingin, dan 5-10% terbuang akibat gesekan. Melihat besarnya energi yang terbuang dan mengingat semakin berkurangnya sumber energi yang berasal dari fosil maupun mahalnya biaya pemakaian energi, maka sangat perlu bila dilakukan upaya pemanfaatan limbah panas dari hasil pembakaran *Internal Combustion Engine*. Pemanfaatan limbah panas dapat dilakukan melalui proses pemulihan gas buang sehingga limbah panas tersebut dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif dan melalui pemulihan limbah panas diperoleh suatu teknologi yang mempunyai efisiensi *thermal* tinggi, mampu mengurangi pemakaian bahan bakar fosil, menghasilkan sumber energi alternatif serta energi yang bersih lingkungan. Fokus dari review ini adalah perkembangan teknologi pemulihan limbah panas yang berasal dari *Internal Combustion Engine* yang dikonversi langsung menjadi energi listrik seperti *Termo Electric Generator* (TEG), atau limbah panas yang dikonversi secara tidak langsung menjadi energi listrik tetapi melalui konversi mekanik seperti : *Organic Rankine Cycling* dan *Vapor Absorption Cycle* sehingga energi listrik ini tersebut dapat diaplikasikan ke kendaraan transportasi. Diharapkan hasil review ini dapat digunakan lebih lanjut oleh peneliti yang bekerja dibidang penelitian dan pengembangan sektor *Internal Combustion Energi*

Keywords: *Internal Combustion Engine, Recovery of Exhaust Gas ,Utilazation of Waste Heat*

PENDAHULUAN

Mesin Diesel banyak digunakan dalam alat transportasi kendaraan dimana daya yang dihasilkan berasal dengan mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanik dan pada gilirannya dihasilkan energi *thermal*, namun efisiensi *thermal* tersebut hanya mencapai 35%, sedangkan 65% energi bahan bakar hilang melalui gas buang, cairan pendinginan engine, knalpot, dan radiasi permukaan. Besarnya distribusi energi bahan bakar dapat sbb: [1]



Gambar1.Total fuel energy distribution in an internal combustion engine [1]

Dengan pertumbuhan manusia dan kendaraan transportasi yang terus meningkat akan berpeluang terjadinya pemborosan energi, bahan bakar, keuangan dan pencemaran lingkungan. [2,3] Para peneliti telah terus bekerja untuk meminimalkan kerugian ini melalui peningkatan kinerja mesin diesel,[4] mengurangi pemakaian bahan bakar dan meminimalkan emisi dari knalpot mesin secara keseluruhan dan juga memanfaatkan energi panas dari limbah panas tersebut, sehingga dapat dikembangkan menjadi energi dalam bentuk energi mekanik atau energi listrik [5,6]

Limbah panas yang terbuang dari hasil pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi limbah panas dengan tinggi suhu, suhu sedang dan suhu rendah. Limbah panas suhu tinggi lebih dari 400 ° C, dan kisaran suhu sedang adalah 100–400 ° C sedangkan kisaran suhu rendah kurang dari 100 ° C [7]. Limbah panas dalam suhu tinggi berasal dari proses pembakaran langsung, suhu sedang berasal dari knalpot unit pembakaran sedangkan limbah panas suhu rendah berasal dari bagian, produk dan peralatan unit proses [7]. Untuk Mesin Diesel, limbah panas yang keluar dari exhaust manifold mempunyai suhu tinggi dari 250°C hingga 600°C [7] Pada *Internal Combustion Engine* sekitar 30-45% energi bahan bakar dikonversi menjadi output daya yang bermanfaat sedangkan energi bahan bakar yang tersisa terbuang terutama melalui gas buang, dan kehilangan panas.[8] Kapasitas panas gas buang yang dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung, menjadi sumber energi alternatif yang dapat digunakan kembali oleh *Internal Combustion Engine*. Review singkat ini lebih fokus kepada metode pemulihan dan pemanfaatan limbah panas yang dihasilkan dari *Internal Combustion Engine* melalui metode konversi limbah panas menjadi energi listrik melalui thermo electric generator atau konversi limbah panas menjadi kerja mekanik melalui *Organic Rankine Cycle* dan *Vapor Absorption Cycle*.

Manfaat Pemulihan limbah Panas dari *Internal Combustion Engine*

Manfaat dari limbah panas dalam pemulihan limbah panas dapat diklasifikasikan dalam dua kategori: 1. Manfaat Langsung : Efek langsung dari pemanfaatan limbah panas adalah dapat meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Ini tercermin dari pengurangan konsumsi bahan bakar. 2. Manfaat Tidak Langsung : Hasil Pembakaran gas buang dari *Internal Combustion Engine* sebagian besar memproduksi berbagai emisi dan gas rumah kaca seperti: hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO) yang tidak terbakar, Oksida nitrogen (NOx), opacity asap, karbon dioksida (CO₂), partikulat materi (PM). Molekul HC, CO, NOx bereaksi dengan sinar matahari untuk membentuk permukaan tanah ozon; ini berbahaya bagi lingkungan hidup [9], Komposisi NOx dan PM sangat tergantung pada suhu oksidasi bahan bakar dan rasio bahan bakar dan udara, Emisi jelaga yang rendah dihasilkan dari pembakaran dengan Temperatur yang lebih tinggi, sebaliknya emisi jelaga yang tinggi dihasilkan dari temperature pembakaran yang rendah [10], dengan pemulihan limbah panas, efek tidak langsungnya adalah terjadi pengurangan polusi dan penurunan pencemaran lingkungan [11], sedangkan teknologi yang digunakan untuk mengurangi polusi udara adalah *Exhaust Gas Recirculation (EGR)*, *Amonia Scrubber*, *Direct Water Injection (DWI)*, *Diesel Particulate Filter (DPF)*.

Aliran masa limbah panas adalah fungsi dari ukuran dan kecepatan mesin, semakin besar ukuran mesin semakin tinggi kecepatan panas gas dan limbah panas lebih besar, jadi pemulihan limbah panas akan sangat bermanfaat apabila mesin besar dibandingkan dengan mesin kecil. Beberapa teknologi terakhir yang sudah dikembangkan dari pemulihan limbah panas yang berasal dari *Internal Combustion Engine*, dalam hal ini limbah panas dapat digunakan kembali dalam proses yang sama melalui *Exhaust Gas Recirculation* atau dipindahkan ke proses termal, listrik, atau mekanik lainnya. Limbah panas yang dikeluarkan dari *Internal Combustion Engine* dapat dirubah menjadi Energi mekanik dengan bantuan *Thermodynamic cycle Rankine*, *Brayton Thermodynamic cycle* dan *Vapor Absorption Cycle*, atau dapat diubah menjadi energi listrik seperti *Thermo Electric Generator*, telah merancang alat untuk memulihkan panas gas buang berdasarkan siklus *Rankine* pada mesin truk.[12]. Eksperimen commissioning dari 450 kilometer menunjukkan bahwa perangkat ini dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 12,5%. Cummins Company juga telah melakukan beberapa penelitian tentang pemulihan limbah panas pada mesin truk, dan hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi termal mesin dapat meningkat sebesar 5,4% melalui pemulihan panas knalpot, dengan menggunakan Teknik siklus *Bottoming Rankine* telah berhasil memaksimalkan efisiensi energi, mengurangi konsumsi bahan bakar tetapi juga meningkatkan output daya engine (kerapatan daya) atau perampingan[13], yang selanjutnya mengurangi CO₂ dan emisi gas buang berbahaya lainnya secara bersamaan, dan emisi gas rumah kaca [14], telah mempelajari analisis pemulihan panas limbah gas buang dan pemrosesan polusi untuk mesin diesel, dalam menganalisis efek total dari limbah panas pada polusi atau lingkungan. diprediksi bahwa jika 6% dari panas yang terkandung dalam gas buang dikonversi menjadi tenaga listrik, pengurangan konsumsi bahan bakar 10% dapat dicapai [15], limbah panas dapat dimanfaatkan untuk semua jenis kendaraan di jalan, namun yang paling banyak aplikasi dan digunakan adalah kendaraan berat dan truck diesel karena memuat mesin dan kecepatannya stabil selama jam operasi dan besarnya total jarak tempuh, Adapun hasil dari pemulihan limbah panas dapat berupa penghematan bahan bakar akan cukup untuk memulihkan biaya tambahan dalam waktu yang singkat [16]

Kapasitas Limbah Panas dari *Internal Combustion Engine*

Internal Combustion Engine adalah Mesin Kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi kimia yang terdapat dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi dalam ruang tertutup. Energi kimia terlebih dahulu diubah menjadi energi thermal melalui

proses pembakaran. Energi *thermal* yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak dan poros engkol. Didalam disiplin rekayasa, pembakaran adalah salah satu proses penting yang melibatkan: aliran fluida *turbulent*, perpindahan panas, reaksi kimia, perpindahan panas dan proses kimia dan fisika yang kompleks. Untuk beberapa jenis aplikasi *Internal Combustion Engine* maka perlu juga memprediksi jenis aliran, temperatur, konsentrasi dan emisi yang dihasilkan dari berbagai sistem pembakaran. Pembakaran dengan jumlah udara kurang dari persyaratan udara stoikiometri adalah bahan bakar kaya, dan pembakaran dengan udara lebih dari persyaratan udara *stoikiometri* disebut pembakaran miskin. Rasio bahan bakar dan udara digunakan dalam penghitungan pembakaran untuk mendefinisikan kekuatan sebuah campuran dengan mengikuti aturan kekuatan campuran *stoikiometri*. Karakterisasi pembakaran, unjuk kerja dan emisi mesin dilakukan dengan pengaturan derajat waktu injeksi, yaitu *advanced* dan *retarded*. Selanjutnya untuk karakterisasi pembakaran dilakukan melalui pendekatan analisis heat release. Analisis *heat release* didasarkan pada data tekanan gas dalam ruang bakar, kurva pembakaran dapat digunakan untuk mengestimasi karakteristik pembakaran berupa phase *Ignition delay* dan phase pembakaran (*premixed* dan *diffusion combustion*).

Laju aliran massa gas buang adalah fungsi dari ukuran dan kecepatan mesin, karenanya semakin besar ukuran mesin dan semakin tinggi kecepatan panas gas buang lebih besar. Jadi sistem pemulihan panas akan bermanfaat bagi mesin besar dibandingkan dengan mesin kecil. Besarnya kapasitas panas yang hilang dalam *exhaust gas* ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$Q_g : (m_a + m_f) \times C_p \times (T_1 - T_a)$$

Dimana:

Q_g : Energy lost in exhaust gas (kJ/h)

m_a : Air consumption (kg/h)

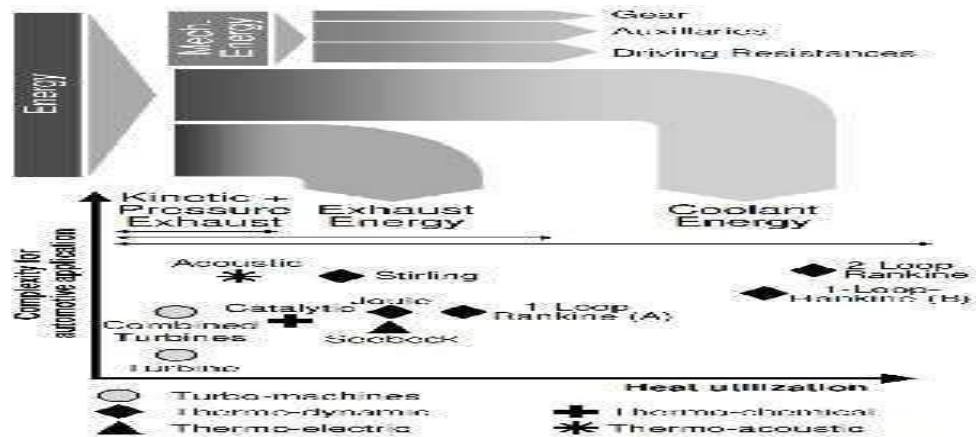
m_f : Fuel consumption (kg/h)

C_p : Specific heat capacity of exhaust gas (kJ/kg°C)

T_1 : Exhaust gas to calorimeter inlet temperature (°C)

T_a : Ambient temperature (°C)

Besarnya perbedaan suhu antara sumber panas dan lingkungan merupakan penentu penting dari utilitas atau "kualitas" limbah panas. Perbedaan suhu sumber dan bak pendingin mempengaruhi laju perpindahan panas per unit permukaan sistem pemulihan, dan efisiensi teoritis maksimum untuk mengubah termal dari sumber panas ke bentuk energi lain (mis. Mekanik atau listrik). Akhirnya, kisaran suhu memiliki fungsi penting untuk pemilihan teknologi dari sistem pemulihan panas limbah [16-17]. Sumber energi limbah panas yang terbesar internal combustion engine berasal dari besarnya kapasitas limbah panas [18], dalam menentukan pemilihan teknologi dari pemulihan limbah panas ada beberapa parameter yang mempengaruhi seperti: kapasitas panas, temperature lingkungan, temperature keluar dan komposisi bahan bakar. Teknologi yang digunakan dari pemanfaatan limbah panas yang berasal dari *Internal Combustion Engine* dapat digambarkan sebagai berikut [19]:



Gambar 2. Energy utilization vs. complexity of different heat recovery systems [19]

METODE PENELITIAN

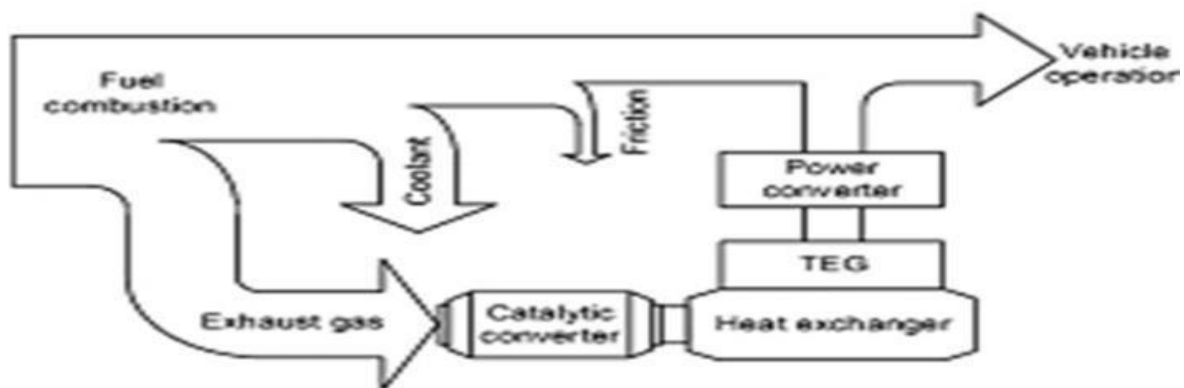
Metode yang digunakan pada studi ini berupa kajian literatur yang luas dan mendalam terhadap berbagai teknologi pemulihan limbah panas sebagai sumber energi alternatif, dimana sumber kajian ini adalah data sekunder, yang digunakan termasuk internet, laporan penelitian, prosiding, dan artikel jurnal nasional maupun internasional yang fokus terhadap pemulihan limbah panas menjadi energi listrik melalui proses mekanik atau proses panas secara langsung. Beberapa metode yang digunakan untuk pemulihan limbah panas adalah sbb : 1. Kapasitas limbah panas digunakan kembali untuk proses pembakaran melalui manifold inlet. 2. Kapasitas limbah panas dikonversi menjadi energi listrik melalui Thermo-elektrik Generator. 3. Kapasitas limbah panas dikonversi menjadi energi listrik dengan menghubungkan kompresor dan alternator. Didalam pemanfaatan limbah panas termasuk didalamnya menangkap dan memindahkan limbah panas dari suatu proses kembali ke sistem sebagai sumber energi ekstra [20]. Sumber energi dapat digunakan untuk membuat tambahan panas atau untuk menghasilkan tenaga listrik dan mekanik [21]. Limbah Panas semakin tinggi suhu, semakin tinggi kualitas limbah panas dan optimisasi proses pemulihan panas limbah lebih mudah. Oleh karena itu penting untuk menemukan jumlah maksimum panas yang dapat dipulihkan dari potensi tertinggi dari suatu proses dan untuk memastikan pencapaian efisiensi maksimum dari sistem pemulihan panas limbah [22]. Beberapa teknologi yang digunakan untuk menangkap limbah panas meliputi : pemulihan limbah panas ke konversi listrik seperti termal/*ThermoElektrik Generator*; atau limbah panas ke mesin konversi misal: *mesin Sterling*, siklus mesin *Rankine*, turbin gas, sedangkan pemanfaatan dari teknologi pemulihan limbah panas secara langsung dapat digunakan untuk ruang pemanas, pemanas air, *Air Conditioning* dan *Refrigerasi*, atau untuk *desalinasi*. Pemanfaatan limbah panas menjadi energi alternatif dilaksanakan melalui konversi menjadi generator set dari tenaga mekanik yang dimungkinkan dengan bantuan siklus termodinamika seperti *Organic Rankine Cycle* dan *Vapor Absorption Cycle*, *Brayton*, atau konversi menjadi energi listrik seperti : *Thermo Electric Generator*, *Piezoelectric Generation*, *Thermionic Generation* dan *Thermo Photo-voltaic*, *Organic Cycle Rankine*, *Vapor Absorption Cycle*.

Thermo Elektik Generator

Prinsip dasar dari *thermoelectric generator* adalah memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi di lingkungan menjadi energi listrik. *Termo Elektrik Generator* menggunakan sebuah

elemen yang disebut *peltier*. Elemen *peltier* adalah merupakan bagian terpenting dari *thermoelectric generator*, kedua sisi yang terbuat dari keramik memiliki fungsi sebagai sisi panas dan sisi dingin yang kemudian menghasilkan arus positif dan negative. Jika nilai tegangan (V) dan arus (I) telah didapatkan, besar daya *peltier besarnya energi listrik dapat ditentukan Thermo Electric generator* memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan tidak menimbulkan polusi sehingga sangat ramah lingkungan [23]. Untuk mesin mobil, ada dua gas buang utama panas sumber yang tersedia. *Radiator* dan gas buang mesin IC [24]. Teknologi *termoelektrik* bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (*generator termoelektrik*), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (*pendingin termoelektrik*). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan *semikonduktor*. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Arus listrik akan mengalir dalam rangkaian jika ada perbedaan suhu antara masing masing sisi. Menurut *efek Seebeck*. *21 Thermo Elektrik Modular / TEM* terdiri dari angka n dari pasang kaki termoelektrik di mana setiap kaki positif atau kaki negatif memiliki banyak sifat seperti panjang kaki, konduktivitas termal (λ), konduktivitas listrik (σ), dan Koefisien *Seebeck* dari dua persimpangan (nilai rata-rata) (αP). TEM akan dimasukkan pada dinding ruang bakar tipikal mesin pengapian percikan empat langkah (SI). Sisi panas dari TEM yang merah akan berada di dalam ruang bakar terbuka langsung ke gas pembakaran yang sangat panas dan turbulen. Itu sisi dingin yang berwarna biru akan berada di dalam jaket pendingin bahwa di sekitar dinding ruang pembakaran terkena langsung ke cairan pendingin. Gas pembakaran panas akan memanaskan sisi panas TEMs sementara di sebaliknya cairan pendingin dingin akan mendinginkan sisi dingin TEM. Kemudian dengan definisi TEG, kekuatan listrik akan dihasilkan dalam TEM karena perbedaan suhu antara sisi dingin dan panas TEM.

Thermo Electric Generator sangat tergantung pada suhu gas panas limbah dan laju aliran masa gas buang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya output dan efisiensi meningkat secara signifikan dengan mengubah koefisien perpindahan panas *konveksi* dari sisi suhu tinggi daripada sisi suhu rendah. Energi yang dihasilkan mencapai 30-40 % dari energy potensial gas buang. Energi ini diperoleh dari perbedaan suhu antara gas pembakaran *Internal Combustion Engine* dengan cairan pendingin. Faktor faktor lain yang berpengaruh adalah: koef perpindahan panas, jenis cairan pendinginan, suhu cairan pendinginan dan *compressi ratio*. tinggi antara pembakaran. *Thermo Elektrik Generator /TEG* sebagian besar dipasang untuk sistem gas buang. Ini pada dasarnya terdiri dari sistem gas buang, penukar panas, TEG, sistem pengkondisian daya dan paket baterai [25]



Gambar 3. Typical TEG waste heat energy recovery system [25]

Sebagian besar sistem elektronik mobil disertakan daya dari listrik yang dihasilkan *thermoelectric* seperti Chevrolet, [26-28]. Pada tahun 2016 Chevrolet Malibu Hibrida, menggunakan limbah panas untuk menghangatkan interior kabin serta mesin. Delphi Corporation dan General Motors Corporation memulai sebuah proyek untuk merancang, membangun, membuat model dan menguji AETEG /*Automotive exhaust thermoelectric generators (AETEGs)* untuk cahaya truk dan mobil penumpang sejak tahun 2003, yang didanai oleh Program Penelitian Transportasi Energi Negara Bagian New York Otoritas Penelitian dan Pengembangan [29]. TEG didinginkan oleh cairan pendingin engine dan dipasang di hilir katalis, hasil eksperimen menunjukkan peningkatan bahan besarnya kapasitas pompa pendingin sangat signifikan dan efisiensi bahan bakar berada di urutan 1% ~2% untuk truk pick-up GM Sierra, tergantung pada kecepatan.[30]. Sebuah tim yang dipimpin oleh Amerigon (sekarang Gentherm) dan bekerja sama dengan BMW, Visteon, Marlow Industries, Ford, dan Faurecia telah terlibat dalam program untuk mengembangkan AETEG untuk penumpang mobil pada 2004. Program ini mengalami lima fase dan selesai pada tahun 2011 dengan AETEG diintegrasikan ke dalam dua mobil penumpang: BMW X6 dan Lincoln MKT. Arsitektur AETEG silinder dikembangkan dengan manfaat menyederhanakan konstruksi AETEG dan mengurangi volume AETEG. Eksperimen dan simulasi dilakukan di luar. Mesin pendingin digunakan sebagai media pendingin. TEG dipasang antara katalis dan knalpot. Untuk BMW X6 berbasis AETEG, daya 605 W diukur pada titik desain dan peningkatan efisiensi bahan bakar maksimum adalah lebih dari 1,2% ; namun, hanya sekitar 450W yang diperoleh untuk kecepatan dekat titik desain dalam kondisi normal. Untuk AETEG berbasis Lincoln MKT, daya rata-rata adalah 225W dan 80W untuk berkecepatan mantap di jalan raya dan berhenti di kota di dalam kota. [31-35].

Piezoelectric Generation

Ini digunakan untuk kisaran suhu rendah 100°C hingga 150°C. Perangkat *piezoelektrik* mengubah energi mekanik dalam bentuk getaran sekitar menjadi energi listrik. Ini adalah membran film tipis yang dapat memanfaatkan ekspansi gas osilasi untuk menghasilkan keluaran tegangan.

Thermionic Generation

Ini adalah perangkat termoelektrik yang beroperasi pada emisi termionik. Dalam sistem ini perbedaan suhu mendorong aliran elektron melalui vakum dari logam ke permukaan oksida logam. *Generasi Termionik Generator termoelektrik* memiliki kemampuan untuk mengkonversi secara langsung buang panas dari knalpot mesin panas menjadi listrik yang bisa beban dan aksesoris tambahan kendaraan listrik. *Termoelektrik generator* terdiri dari berbagai elemen *semikonduktor* itu menghasilkan tegangan ketika ditempatkan melintasi gradien suhu tanpa melepaskan *karbon dioksida* dan emisi lain itu biasanya hasil dari konsumsi bahan bakar fosil. Baru-baru ini Proses ini dikembangkan oleh Zhang dan rekannya mitra penelitian menggunakan *heat exchanger* yang dipasang setelah *catalytic converter* untuk menghilangkan panas dari gas buang dan mengirimkannya ke perangkat *termoelektrik*, yang mengubah panas menjadi listrik

Thermo Photo-voltaic

Itu mengubah energi radiasi menjadi listrik. Pemanasan emitor memancarkan radiasi elektromagnetik. Semua perangkat *konversi* listrik langsung memiliki efisiensi rendah tetapi

dapat ditingkatkan dengan teknologi. Keuntungan dalam siklus daya alternatif dapat meningkatkan kelayakan pembangkit listrik pada suhu rendah. Semua metode langsung perangkat pembangkit listrik ini berbiaya tinggi dan efisiensi rendah. Itu dapat dengan mudah ditangani dan dengan ukuran yang kompak. Jadi, membutuhkan ruang minimum, kendaraan prototipe bergerak dengan generator termofotovoltaik telah dibangun, Teknologi ini didasarkan pada konversi panaskan menjadi foton yang akan menghasilkan listrik sesudahnya, tetapi membutuhkan suhu yang tinggi karena produksi foton sebanding dengan suhu terhadap daya yang dihasilkan

Organik Rankine Cycle / ORC

Siklus ORC merupakan pembangkit listrik siklus biner yang memiliki prinsip kerja seperti siklus daya uap Rankine. Pada siklus ORC memungkinkan memanfaatkan sumber energi dengan temperatur operasi rendah. Hal yang membedakan siklus Rankine dengan ORC adalah fluida kerja serta kondisi operasinya. Pada siklus Rankine fluida kerja yang digunakan adalah air. Sedangkan untuk sistem ORC fluida yang digunakan adalah fluida organik yang memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air. Sistem ORC akan menggunakan komponen evaporator sebagai pengganti steam generator atau boiler di siklus Rankine. Sistem ORC memanfaatkan sumber panas dengan temperatur rendah seperti panas buang Internal Combustion Engine, panas matahari, biomassa serta brine dari pembangkit panas bumi. Pada temperatur rendah, fluida organik memiliki efisiensi siklus yang lebih tinggi dibandingkan air. Selain itu, ORC juga lebih efisien untuk pembangkit skala kecil. Pembangkit siklus ORC sederhana memiliki komponen utama yaitu evaporator/boiler, turbin/expander, generator, kondenser dan pompa

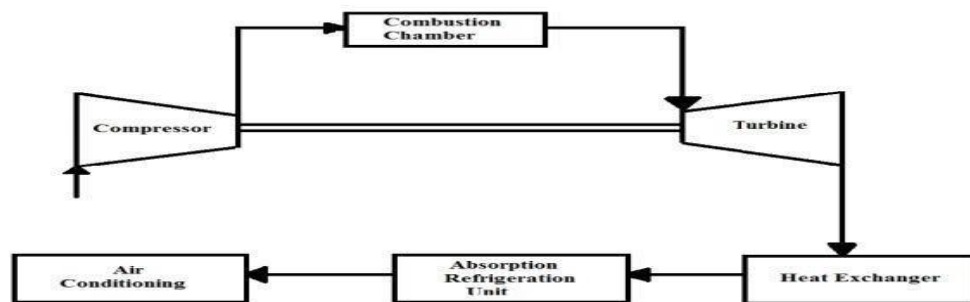
Gambar 4. Schematic of Organic Rankine Cycle (ORC) on diesel engine and T-S Diagram [36]

Energi gas buang digunakan untuk menghasilkan daya tambahan melalui pengembangan uap atau melalui *Siklus Rankine* Pemulihan panas limbah dari siklus Rankine dioperasikan pada perbedaan suhu rendah dan menggunakan cairan seperti: Refrigeran, CO₂ dan campuran biner. Temperatur dan Komposisi gas buang memainkan peran penting dalam operasi ORC karena variasi dalam pemanasan spesifik berada dalam gas. Pemulihan panas limbah menggunakan *Organik Rankine Cycle/ ORC* adalah metode yang efisien dibandingkan dengan teknik lainnya Di antara semua strategi ini, ORC adalah yang menjanjikan dan strategi yang efektif untuk sisa sumber daya panas dan suhu rendah (Sumber suhu tinggi: Gas buang dan EGR, Suhu rendah sumber: Jaket air dan udara charge), menyajikan ikhtisar aspek teknis dan ekonomi, serta evolusi pasar teknologi ORC, ORC teknologi adalah kandidat yang menjanjikan untuk konversi energi panas, pada suhu rendah dan sedang, menjadi listrik dan / atau mekanik energi dalam skala kecil. Sebagai sistem ORC memanfaatkan energinya sumber intensif, teknologi ini

dapat memfasilitasi pasokan listrik ke daerah terpencil / daerah perbukitan, produksi energi sendiri, desalinasi air laut untuk konsumsi manusia, atau bahkan untuk meningkatkan energi efisiensi di sektor industri yang menghormati lingkungan Banyak upaya penelitian telah dikeluarkan sejauh ini menuju implementasi dari teknologi ORC di pasar riil Itu Teknologi ORC paling cocok untuk aplikasi pemulihan panas limbah suhu rendah ($\leq 350^\circ\text{C}$) dan kadar panas rendah Untuk Rankine Cycle berdasarkan dari kemajuan teknis dalam serangkaian komponen penting untuk pengoperasian instalasi *Rankine Cycle* (penukar panas, kondensator dan expander), pemasangan *Rankine Cycle* dapat menghasilkan daya tambahan tetapi juga dianggap sebagai solusi yang layak untuk peningkatan efisiensi pada mesin diesel tugas berat truk dan bus, tetapi juga untuk aplikasi tugas ringan seperti mobil penumpang Pemulihan panas limbah dengan siklus Rankine pertama kali diteliti untuk aplikasi truk. siklus Rankine organik menggunakan campuran trifluoroethanol dan air (Masing-masing 50 persen molar) dan turbin aksial tiga tahap secara mekanik digabungkan ke poros mesin. Pada kondisi puncak, sistem ini mampu menghasilkan 26 kW tenaga mekanik tambahan.[37].Berdasarkan hasil penelitian telah merancang perangkat untuk memulihkan panas gas buang berdasarkan siklus *Rankine* pada mesin truk.[37].Eksperimen *commissioning* dari 450 kilometer menunjukkan bahwa perangkat ini dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 12,5%. Cummins Company pada mesin truk juga, hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi *thermal* mesin dapat meningkat sebesar 5,4% melalui pemulihan panas knalpot. Pada mobil penumpang dilakukan yang menggabungkan sistem pendingin mesin dan *scroll expander* untuk membuat siklus *Rankine*, menggunakan R123 sebagai cairan kerja dan mampu mengurangi konsumsi bahan bakar mobil sebesar 3%,[38]. Namun sistem mereka kinerja sebagian besar tergantung pada suhu sekitar. [39] mempresentasikan hasil pada siklus *Rankine* ditambah dengan mesin mobil penumpang. *Expander* adalah *expander* plat aksial dioperasikan di sebuah tekanan antara 40 dan 90 bar. Sistem menunjukkan efisiensi siklus maksimal 13% dengan menghasilkan daya hingga 3 kW. Tahun berikutnya, *turbosteamer* diperkenalkan [40]. Sistem pemulihan panas limbah ini terdiri dari dua siklus Rankine dulu memulihkan limbah panas dari cairan pendingin dan dari gas buang. Pada tahun-tahun berikutnya, sistem itu berevolusi dan hanya menggunakan satu siklus Rankine [41].Versi terakhir dari *turbosteamer* ini diproduksi listrik dengan turbin impuls kecil maksimum 2 kW dan target 10% peningkatan di konsumsi bahan bakarnya [42] Teknik *Siklus bottoming Rankine* untuk memaksimalkan efisiensi energi, mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca. Siklus mesin yang diusulkan oleh [43] terdiri dari menangkap gas buang setelah empat langkah dan mengompresnya dengan dua langkah tambahan. Karena tidak ada injeksi bahan bakar tambahan tetapi gas yang sudah diperluas telah memberikan tambahan tenaga dan karenanya meningkatkan ekonomi bahan bakar mesin. Konsep injeksi air langsung ke ruang bakar dan menutup katup buang lebih awal dari waktu normalnya menjebak gas residu di dalam ruang bakar. Cairan yang disuntikkan menerima energi dari gas residual terkompresi dan mengembang yang meningkatkan tekanan di dalam silinder. Perluasan gas menghasilkan lebih banyak hasil kerja, [43]. Untuk menyuntikkan air langsung ke knalpot mesin daripada menggunakan ruang bakar karena injeksi air pada knalpot lebih praktis, menyimpulkan bahwa tekanan efektif rata-rata (MEP) dapat dimaksimalkan dengan injeksi cairan dalam kisaran 0,75-2,5 bar. Ini menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi mesin dan konsumsi bahan bakar mencapai peningkatan 12% efisiensi menggunakan *Rankine cycle* dari *exhaust gas* and *engine coolant* cairan pendingin melalui percobaan stationary *Internal Combustion Engine*, ada 7% dari peningkatan bahan bakar ekonomi tercapai [44-45]. Rata-rata emisi NX dan CO₂ berkurang sebesar 18%, melalui percobaan dual bahan bakar, menunjukkan peningkatan dalam thermal efficiency dari 28.9% hingga 32,7% melalui pemanfaatan potensial energi limbah panas dan *engine coolant*[46]

Vapor Absorption Cycle

Banyak penelitian telah dilakukan mengenai uap siklus pendinginan penyerapan pada *Internal Combustion Engine* [47-56]. Dalam vapour Absorption Cycle, panas disediakan di generator yang menghasilkan uap pendingin. Uap-uap ini kemudian terkondensasi dalam kondensor dengan kehilangan panas. Cairan bertekanan tinggi *refrigeran* kemudian dicekik melalui katup ekspansi ke bawah tekanan pada evaporator. *Refrigeran* pada tekanan rendah dan suhu menguap dan menghasilkan efek pendinginan. Itu uap pendingin kemudian dialirkan ke penyerap. Solusi lemah di *vapor absorption* dan solusinya adalah dipompa ke tekanan yang lebih tinggi ke generator oleh pompa. Yang lemah solusi dari generator diumpankan kembali ke penyerap di mana ia menyerap uap pendingin yang berasal dari *evaporator*. Pemulihan panas dari mesin otomotif terutama digunakan untuk pengisian *turbo* atau untuk pemanasan kabin dengan aplikasi *absorption refrigeration*. Eksperimen yang dilakukan pada sistem, membuktikan bahwa konsep tersebut layak, dan dapat secara signifikan meningkatkan kinerja sistem tergantung pada bagian-bagian mesin. *vapor absorption cycle* tersebut dapat digunakan untuk pendingin dan pendingin udara kendaraan transportasi, sistematis dari Siklus Absorpsi Uap sebagai berikut [57]:



Gambar 5. Vapor Absorption Cycle [57]

Sebuah sistem pendingin udara adsorpsi baru yang digunakan dalam mesin pembakaran internal untuk kabin pengemudi lokomotif pendingin telah diselidiki. Sistem ini menggunakan *air zeolit* sebagai pasangan yang bekerja dan digerakkan oleh limbah panas dari gas buang internal combustion engine. Kemudian kapasitas refrigeration dapat secara kontinu dan mantap disediakan ke kabin pengemudi lokomotif untuk pendinginan ruangnya melalui *Electric vapor compression air-air conditioning sistem*. Eksperimen menunjukkan bahwa penyerap tunggal dengan regenerasi kabin lokomotif pengatur udara sistem AC sederhana dalam struktur, dapat diandalkan dalam operasi, dan nyaman untuk dikendalikan, *Diesel Absorption Cycle* dikombinasikan dengan *pre intercooling* menghasilkan power dan efisiensi termal yang tinggi, efisiensi overall *pre inter cooled* lebih rendah dibandingkan dengan *intercooler*. [58]

KESIMPULAN

1. Energi limbah panas dapat dimanfaatkan sebagai sebagai sumber energi alternatif yang digunakan untuk untuk menghindari kehilangan panas yang terbuang dan pencemaran udara. Beberapa *improvement* pemulihan limbah panas dari *Internal Combustion Engine*, tidak hanya membawa manfaat yang terukur untuk meningkatkan konsumsi bahan bakar, tetapi juga meningkatkan output daya engine (kerapatan daya) atau perampangan, yang selanjutnya mengurangi CO₂ dan emisi gas buang berbahaya lainnya secara bersamaan.
2. Pemulihan energi limbah panas yang di konversi menjadi kerja mekanik dapat dilakukan dengan bantuan *Organik Rankine Cycle* atau *Bottom Rankine Cycle* dari sedangkan

pemanfaatan dari *Vapour Absorption Cycle* adalah untuk air conditioning, refrigerant dalam kabin kendaraan pribadi atau umum, atau pemulihan energi gas buang yang di koversi menjadi energi listrik melalui *ThermoElectric Generator* dapat digunakan untuk daya accessories dalam kabin kendaraan. Semua teknologi yang memanfaatkan gas buang dari *Internal Combustion Engine* dapat meningkatkan effisinsi *thermal*, pengurangan pemakaian bahan bakar dan mengurangi emisi. sehingga terbentuk energi berkelanjutan, penghematan biaya ekonomi dan kondisi lingkungan yang bersih.

3. Berbagai industri mobil, termasuk mobil penumpang (BMW, Honda,) dan truk, yang sedang diproduksi secara industri telah menggunakan teknologi pemulihan panas limbah dan disamping itu penelitian terus dilakukan untuk perbaikan sistem pemulihan panas limbah, sehingga mengoptimalkan pemanfaatan bahan bakar dan memaksimalkan kinerja mesin dan kelestarian lingkungan

DAFTAR PUSAKA

- [1] Jadhao, J. S., & Thombare, D. G. (2013). Review on exhaust gas heat recovery for IC engine. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(12), 93-100.
- [2] M.T. Chaichan, "Study of NOx and CO Emissions for SIE Fueled with Supplementary Hydrogen to Gasoline," *Baghdad Engineering Collage Journal*, vol. 14, no. 6, pp. 4606-4617, 2010.
- [3] M.T. Chaichan, "Study of Performance of SIE Fueled with Supplementary Hydrogen to LPG," *Association of Arab Universities Journal of Engineering Science*, vol. 16, no. 1, pp. 2009.
- [4] R.Saidur "Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2012, 5649–5659.
- [5] Hatazawa M, Sugita H, Ogawa T, Seo Y. "Performance of a thermoacoustic sound wave generator driven with waste heat of automobile gasoline engine". *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers* 2004;70(689):292–9.
- [6] S. Bruckner, S. Liu, M. Laia, M. Radspieler, L.F. Cabeza, L. Eberhard, Industrial waste heat recovery technologies: an economic analysis of heat transformation technologies, [http://refhub.elsevier.com/S2451-9049\(18\)30001-5/h0010](http://refhub.elsevier.com/S2451-9049(18)30001-5/h0010)
- [7] N. Naik-Dhungel, Waste Heat to Power Systems, 30 May 2012. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/waste_heat_to_power_systems.pdf. [Accessed 1 11 2017].
- [8] Diego A. Arias, Timothy A. Shedd, Ryan K. Jester, "Theoretical analysis of waste heat recovery from an internal combustion engine in a hybrid vehicle," SAE paper 2006-01-1605
- [9] Semin1, Adhi Iswantoro2, Fatekhun Faris3 ,Performance and NOx Investigation on Diesel Engine using Cold EGR Spiral Tube: A Review *In ternational Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol. 1(3), Jun. 2017. 213-220 (pISSN: 2541-5972, eISSN:2548-1479)
- [10] Hountalas, D. T., Mavropoulus, G.C., & Binder, K.B. (2008). Effect of exhaust gas recirculation (EGR) temperature for various EGR rates on heavy duty DI diesel engine performance and emissions. *Energy*, 33(2), 272-283.

- [11] Hakan Özcan, M.S. Söylemez, “Thermal balance of a LPG fuelled, four stroke SI engine with water addition,” *Energy Conversion and Management* 47 (5) (2006) 570-581.
- [12] E.F. Doyle, P.S. Patel, “Compounding the truck diesel engine with an organic rankine cycle system,” 760343, Society of Automotive Engineers (SAE), 1976.
- [13] R. Saidur, M.Rezaei . W.K.Muzammil, M.H.Hassan, S.Paria, M.Hasanuzzaman, „Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 5649–5659.
- [14] Hou Xuejun and Gao Deli, “Analysis of Exhaust Gas Waste Heat Recovery and Pollution Processing for Z12V190 Diesel Engine,” Maxwell Scientific Organization, Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.,vol.4, 2012, pp 1604-1611
- [15] J. Vazaquez, M.A. Zanz-Bobi, R. Palacios, A. Arenas, “State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles,” *Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric*, 2002.S.
- [16] John B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamental,” Tata McGraw Hill Education Private Limited, Edition 2011, pp 249-250.
- [17]. V Ganeshan, “Internal Combustion Engine,” Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, Second Edition, pp 35, 606-670
- [18] Chiara, F. & Canova, M. A., Review of Energy Consumption, Management and Recovery in Automotive Systems with Considerations of Future Trends, *Proceedings of Institutionof Mechanical Engineers: Journal of Automobile Engineering*, **227**, 2013, 914-936.
- [19] Ringler, J., Seifert, M., Guyotot, V. & Hübner, W., Rankine Cycle for Waste Heat Recovery of IC Engines, *SAE International Journal of Engines*, **2** (1), 2009, 67-76.
- [20] C. Reddy, S. Naidu, Waste Heat Recovery Methods And Technologies, Universityof Singapore, 1 1 2013.[Online].Available:<http://www.chemengonline.com/waste-heat-recovery-methods-and-technologies/>. [Accessed 02 112017].
- [21] N. Naik-Dhungel, Waste Heat to Power Systems, 30 May 2012. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/201507/documents/waste_heat_to_power_systems.pdf. [Accessed 1 11 2017].
- [22] The-Crankshaft Publishing, Waste Heat Recovery (Energy Engineering), 2017. [Online].Available:<http://what-when-how.com/energy-engineering/waste-heat-recovery-energy-engineering/>. [Accessed 23 10 2017]
- [23] Zhang X, Chau KT, “An automotive thermoelectric–photovoltaic hybrid energy system using maximum power point tracking,” *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1):641–7.
- [24] Fairbanks, J. Thermoelectric applications in vehicle status 2008, in: Europe conference on thermoelectrics 2008: 1–8.
- [25] Zhang X, Chau KT, “An automotive thermoelectric–photovoltaic hybrid energy system using maximum power point tracking,” *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1):641–7.

- [26] N. ESPINOSA, M. LAZARD, and L. AIXALA, “Modeling a Thermoelectric Generator Applied to Diesel Automotive Heat Recovery”, *Journal of Electroic Materials*, vol. 39, pp. 1446-1455,2010.
- [27] Morrison, O.; Seal, M.; West, E.; Connelly, W. Use of a thermophotovoltaic generator in a hybrid electric vehicle. In *Proceedings of Thermophotovoltaic Generation of Electricity: Fourth NREL Conference*, Denver, CO, USA, 11–14 October 1999.
- [28] Ikoma K, Munekiyo M, Furuya K, Kobayashi M, Izumi T, Shinohara K. Thermoelectric module and generator for gasoline engine vehicles. In: *17th International Conference on Thermoelectrics*. 1998. p.
- [29] Karri M, Thacher E, Helenbrook B, Compeau M, Kushch A, Elsner N, eal. Thermoelectrical energy recovery from the exhaust of a light truck. In: *9th Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Workshop*. America: Newport; 2003.
- [30] Thacher EF, Helenbrook BT, Karri MA, Richter CJ. Testing of an automobile exhaust thermoelectric generator in a light truck. *P I Mech Eng D-J Aut* 2007;221:95–107.
- [31] Lagrandeur J, Crane D, Hung S, Mazar B. Automotive waste heat conversion to electric power using skutterudite, TAGS, PbTe and BiTe. Vienna, Austria: *25th International Conference on Thermoelectrics*; 2006.
- [32] Crane DT, LAGrandeur JW, Harris F, Bell LE. Performance results of a high-powerdensity thermoelectric generator: beyond the couple. *J Electron Mater* 2009;38:1375–81.
- [33] Liebl J, Neugebauer S, Eder A, Linde M, Mazar B, Stutz W. The thermoelectric generator from BMW is making use of waste heat. *MTZ Worldwide* 2009;70:4–11.
- [34] Bell LE, LaGrandeur J, Crane DT. Progress report on vehicular waste heat recovery using a cylindrical thermoelectric generator. Germany: In *Thermoelectrics Goes Automotive*; Berlin; 2010.
- [35] Crane DT. An introduction to system-level, steady-state and transient modelling and optimization of high-power-density thermoelectric generator devices made of segmented thermoelectric elements. *J Electron Mater* 2011;40:561–9.
- [36] Duparchy A Leduc P, Bourhis G Ternel C. Heat recovery for next generation of hybrid vehicles: simulation and design of a Rankine cycles ystem. *3World Electric Vehicle* 2009.
- [37] Patel, P.S.; Doyle, E.F. Compounding the truck diesel engine with an organic rankine cyclesystem. In *Proceedings of Automotive Engineering Congress and Exposition*, Detroit, MI, USA, 23–27 February 1976.
- [38] Oomori, H.; Ogino, S. Waste heat recovery of passenger car using a combination of rankinebottoming cycle and evaporative engine cooling system. *SAE Technical Paper* **1993**,doi:10.4271/930880.
- [39] Endo, T.; Kawajiri, S.; Kojima, Y.; Takahashi, K.; Baba, T.; Ibaraki, S.; Takahashi, T.;Shinohara, M. Study on maximizing exergy in automotive engines. *SAE Technical Paper* **2007**,doi:10.4271/2007-01-0257.
- [40] Freymann, R.; Strobl, W.; Oblieglo, A. The turbosteamer: A system introducing the principle of cogeneration in automotive applications. *MTZ Worldw.* **2008**, 69, 20–27.

- [41] Freymann, R.; Ringler, J.; Seifert, M.; Hörst, T. The second generation turbosteamer. *MTZ Worldw.* **2012**, *73*, 18–23.
- [42] R.Saidur, M.Rezaei, W.K.Muzammil, M.H.Hassan, S.Paria, M.Hasanuzzaman, „Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 5649–5659.
- [43] Conklin JC, Szybist JP. A highly efficient six-stroke internal combustion engine cycle with water injection for in-cylinder exhaust heat recovery. *Energy* 2010;35:1658–64.
- [44] Vaja I, Gambarotta A. Internal combustion engine (ICE) bottoming with organic Rankine cycles (ORCs). *Energy* 2010;35(2):1084–93.
- [45] Srinivasan KK, Mago PJ, Krishnan SR. Analysis of exhaust waste heat recovery from a dual fuel low temperature combustion engine using an Organic Rankine Cycle. *Energy* 2010;35(6):2387–99.
- [46] Endo T, Kawajiri S, Kojima Y, Takahashi K, Baba T, Ibaraki S, et al. Study on maximizing exergy in automotive engines, SAE Paper no. 2007-01-0257, Presented at SAE World Congress & Exhibition, April 2007, Detroit, MI, USA, Session: New SI Engine and Component Design (Part 2 of 2).
- [47] AlQdah, K., Performance and Evaluation of Aqua Ammonia Auto Air Conditioner System Using Exhaust Waste Energy, *Energy procedia*, **6**, 2011, 467-476.
- [48] Manojprabhakar, S., Ravindranath, R., Vinothkumar R., Selvakumar, A. & Visagavel, A., *International Journal of Research in Engineering and Technology*, **3**, 2014, 299-304.
- [49] Sowjanya, S. L., Thermal Analysis of a Car Air Conditioning System Based on an Absorption Refrigeration Cycle Using Energy from Exhaust Gas of an Internal Combustion Engine, *Advanced Engineering and Applied Sciences: An International Journal*, **3** (4), 2013, 47-53.
- [50] Manzela, A.A., S.M. Hanriot, L. Cabezas-G ez and J.R. Sodr 2010. “Using engine exhaust gas as energy sourcefor an absorption refrigeration system”. *Appl. Energ.*, **87**: 1141-1148.
- [51] Maurya, S., Awasthi, S. & Siddiqui, S., A Cooling System for an Automobile Based on Vapour Absorption Refrigeration Cycle Using Waste Heat of an Engine, *International Journal of Engineering Research and Applications*, **4** (3), 2014, 441-444.
- [52] Keinath, C., Delahanty, J. Garimella, S. & Garrabrant, M., Diesel Engine Waste-Heat Driven Ammonia-Water Absorption System for Space-Conditioning Applications, *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2014.
- [53] Singh, R., Vats, S., Baghel, N. & Kumar, R., Integration of Water-Lithium Bromide Absorption Refrigeration System with Diesel Engine: A Thermodynamic Study, *International Conference of Advanced Research And Innovation*, 2014, 150-154.
- [54] AlQdah, K., Alsaqoor, S. & Al-Jarrah, A., Design and Fabrication of Auto Air Conditioner Generator Utilizing Exhaust Waste Energy From a Diesel Engine, *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, **3** (2), 2011.
- [55] Krishnadasan, V. & Sajid, N. M., *International Journal Of Advanced Research Trends in Engineering and Technology*, **2** (10), 2015, 868-872.

- [56] Bangotra, A. & Mahajan, A., Design Analysis of 3 TR Aqua Ammonia Vapour Absorption Refrigeration System, *International Journal of Engineering Research and Technology*, **1** (8), 2012.
- [57] Hugues L. Talom, Asfaw Beyene, “Heat recovery from automotive engine” *Applied Thermal Engineering*, vol.29, 2009 pp439–444.
- [58] V. Pandiyarajan, M. Chinna Pandian, E. Malan, R. Velraj, R.V. Seeniraj, “Experimental investigation on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system,” *Applied Energy* 88 (2011)