

STUDI EKSPERIMENTAL EFEKTIVITAS ALAT PENUKAR KALOR SHELL HELICAL COIL TUBE DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG MESIN DIESEL SEBAGAI PEMANAS SOLAR

Joni Kasmara¹, Fauzun² dan Made Suardjaja²

Mahasiswa ProdiS2 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada¹⁾,

Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada²⁾

Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia^{1,2)}

E-mail : afif_zhifa@yahoo.co.id, fauzun71@ugm.ac.id, madesuar@ugm.ac.id

Abstrak

Jika kelambatan penyalaan (*ignition delay*) terlalu panjang maka jumlah campuran yang dapat terbakar pada saat perambatan api terlalu banyak, sehingga menyebabkan kenaikan tekanan di dalam silinder sangat tinggi. Hal ini akan mengakibatkan timbulnya bunyi dan getaran, peristiwa ini disebut dengan *diesel knock* yang merupakan masalah pada mesin diesel. Untuk mencegah terjadinya *diesel knock*, yaitu dengan membuat campuran yang mudah terbakar pada temperatur yang rendah guna memperpendek kelambatan penyalaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas alat penukar kalor tipe shell helical coil tube dalam memanfaatkan limbah panas dari gas buang mesin diesel dan mengetahui pengaruh coil diameter, pitch coil dan putaran mesin terhadap efektivitas penukar kalor shell helical coil tube dalam memanaskan bahan bakar solar. Penelitian dilakukan pada mesin diesel empat silinder dengan berbagai variasi putaran kerja 750, 1000, 1250 dan 1500 rpm dengan pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor akan meningkat dengan semakin kecil diameter coil dan semakin kecil jarak coil. Tetapi naiknya temperatur solar diatas 70°C akan menurunkan kinerja dari mesin diesel tersebut. Maka kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan penukar kalor shell helical coil, dapat memaksimalkan pemanfaatan limbah panas gas buang untuk memanaskan bahan bakar solar pada berbagai putaran operasional dari mesin diesel.

Kata kunci: Efektivitas, Alat Penukar Kalor, Shell Helical Coil Tube, Panas Gas Buang, Mesin Diesel

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini mesin diesel telah banyak dipakai dimana-mana terutama pada sektor transportasi baik darat maupun laut serta sektor industri. Khususnya pada industri pertambangan batubara, dimana semua peralatan berat (*heavy equipment*) menggunakan mesin diesel, sebagai ujung tombak dalam kegiatan eksplorasi batubara. Peralatan berat itu seperti *bulldozer*, *excavator*, *shovel*, *scraper*, *grader*, *whell loader*, *dump truck* dan lain-lain. Hal ini dikarenakan mesin diesel mempunyai efisiensi termal lebih tinggi, daya yang dihasilkan lebih bervariasi dan lebih sederhana sistem pembakarannya karena tidak membutuhkan alat untuk pengapiannya. Tetapi mesin diesel memiliki kelemahan karena tidak sepenuhnya proses pembakaran. Bila bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder, maka bahan bakar akan bercampur dengan udara panas akibat dikompresikan oleh torak. Beberapa saat setelah terjadi proses penguapan, pencampuran dan oksidasi bahan bakar, barulah terjadi pembakaran. Periode antara bahan bakar diinjeksikan dan terjadinya penyalaan disebut kelambatan penyalaan (*ignition delay*). Faktor ini sangat penting pada pembakaran mesin diesel.

Jika kelambatan penyalaan (*ignition delay*) terlalu panjang atau jumlah penguapan pada tahap ini terlalu banyak, maka jumlah campuran yang dapat terbakar pada saat perambatan api terlalu banyak, sehingga menyebabkan kenaikan tekanan di dalam silinder sangat tinggi. Hal ini akan mengakibatkan timbulnya bunyi dan getaran, peristiwa ini disebut dengan *diesel knock* (detonasi) yang merupakan masalah pada mesin diesel. Untuk mencegah terjadinya *diesel knock*, perlu dicegah kenaikan tekanan yang tiba-tiba, yaitu dengan membuat campuran yang mudah terbakar pada temperatur yang rendah guna memperpendek kelambatan penyalaan (*ignition delay*), karena bahan bakar yang diinjeksikan selama periode itu segera terbakar.

Pada saat ini teknologi pemanasan bahan bakar yang banyak digunakan pada mesin diesel adalah menggunakan pemanas elektrik, dimana dalam pemanasannya memerlukan energi listrik yang bersumber dari mesin diesel itu sendiri. Hal ini merupakan kerugian karena membebani mesin diesel tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan sumber pemanas yang tidak membebani mesin diesel dengan memanfaatkan limbah panas gas hasil pembakarannya sebesar 30-40% yang selama ini dibuang melalui exhaust manifold. [1]

Berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan efektifitas penukar kalor dengan jalan meningkatkan koefisien perpindahan kalor. Secara umum, metode ini dikelompokkan menjadi dua yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif memerlukan daya eksternal untuk menciptakan efek turbulensi sedangkan metode pasif menggunakan bentuk geometri khusus atau dengan menambahkan aditif ke dalam fluida pemindah kalor. Karena kepraktisannya, metode pasif lebih banyak digunakan daripada metode aktif.

Salah satu metode pasif yang telah lama diaplikasikan sebagai penukar kalor adalah pipa koil helik atau *helical coil tube*. Penggunaan *helical coil tube* selain dapat mengurangi panjang dari penukar kalor juga dapat meningkatkan efektifitas penukar kalor. Ini dikarenakan ketika fluida mengalir dalam lintasan pipa yang berbentuk kurva, gaya sentrifugal menyebabkan terjadinya aliran sekunder. Aliran sekunder yang disebabkan oleh gaya sentrifugal ini memiliki kemampuan yang signifikan untuk meningkatkan laju perpindahan kalor. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *helical coil tubes* lebih unggul dibandingkan *straight tubes* bila digunakan dalam aplikasi transfer panas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas alat penukar kalor tipe *shell helical coil tube* dalam memanfaatkan limbah panas dari gas buang *KIA diesel engine* dan mengetahui pengaruh *coil diameter*, *pitch coil* dan putaran mesin terhadap efektifitas penukar kalor *shell helical coil tube* dalam memanaskan bahan bakar solar. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai suatu bahan referensi dan memberikan kontribusi yang baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang, maupun untuk perkembangan teknologi pada mesin diesel dengan memanfaatkan kembali limbah panas dari gas buang.

Pramod S, dkk (2012) melakukan penelitian untuk menganalisa aliran sekunder dari penukar kalor *helical coil* dengan berbagai parameter untuk kondisi tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *helical coil* lebih efisien pada nilai *Reynold Number* (Re) yang rendah. Analisis juga menunjukkan bahwa, bertambahnya besarnya diameter *tube* (d) dengan diameter *coil* (D) konstan, rasio kelengkungan (δ) juga meningkat, dapat meningkatkan intensitas aliran sekunder didalam aliran fluida. Peningkatan intensitas sekunder dikembangkan dalam aliran fluida untuk meningkatkan Nu . Oleh karena itu untuk mendapatkan intensitas aliran sekunder yang besar maka *helical coil exchanger* harus memiliki diameter *coil* (D) yang kecil dan diameter *tube* yang besar (d).

Nasser Ghorbani, dkk (2010) melakukan penelitian untuk menyelidiki perpindahan kalor konveksi campuran dalam alat penukar kalor tipe *coilinshell* dengan variasi Reynolds Number (Re) and Rayleigh Number, variasi rasio diameter *tube to coil* dan dimensi *coil pitch*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai pengaruh *tube diameter*, *coil pitch*, *shellside* dan laju aliran massa tabung sisi atas koefisien kinerja dan efektifitas modifikasi dari *vertikal helical coil tubes heat exchanger*. Percobaan dilakukan untuk kedua aliran laminar dan aliranturbulen di dalam

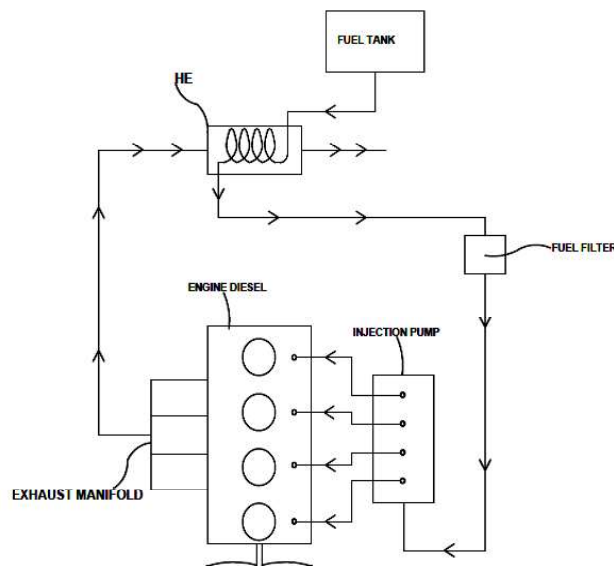
helical. Ditemukan bahwa laju aliran massa *tube-side* untuk shell sisi rasio efektif pada profil temperatur aksial *heat exchanger*. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa hubungan ε -NTU dari campuran konveksi *heat exchanger* adalah sama dengan *counter-flowheat exchanger*.

Nadir Yilmaz, dkk (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh pemanasan awal *vegetable oils* (*peanut oil, canola oil, sunflower oli*) sebelum masuk ke ruang bakar pada *performance* (kinerja) dan karakteristik emisi dari dua mesin diesel. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan pemanasan awal terlebih dahulu pada *vegetable oils* (*peanut oil, canola oil, sunflower oli*) dan *standard diesel* di variansi temperatur (20°C dan 90°C), untuk mengetahui viskositas dari masing-masing bahan bakar pada variansi temperatur tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanasan *vegetable oils* meningkatkan efisiensi termal. *Vegetable oils* meningkatkan emisi CO di kedua mesin. Dalam kedua mesin, bahan bakar diesel menunjukkan O_2 lebih tinggi dari *vegetable oils*. Namun, perbedaan itu kecil dan pengaruh pemanasan pada O_2 tidak signifikan. Penggunaan *Vegetable oils* mengurangi emisi HC yang tertinggi pada kondisi tanpa beban untuk kedua mesin. *Vegetable oils* juga menunjukkan peningkatan emisi NO dibandingkan bahan bakar diesel.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada gambar 1 dibawah menunjukkan skema rangkain alat eksperimen yang digunakan. Alat percobaan terdiri dari : mesin diesel (1) seperti pada gambar 2, tangki bahan bakar solar (2), shell helical coil tube *heat exchanger* (3), fuel filter (4), pompa injeksi (5), thermocouple (6), exhaust manifold (7) dan temperatur indikator.

Cara pengujian yang dilakukan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut : melakukan pemeriksaan pada mesin diesel seperti pemeriksaan air radiator, pemeriksaan oli mesin dan pemeriksaan bahan bakar solar. Selanjutnya merakit peralatan ukur pada mesin diesel seperti *thermocouple, pressure gauge, flowmeter* dan *temperature indicator*.



Gambar 2.1 Skema instalasi pengujian

Dan memastikan bahwa peralatan ukur bekerja dengan baik. Setelah mesin diesel dan peralatan ukur siap, mesin diesel dijalankan dengan putaran stasioner selama ± 2 menit dan pastikan tidak ada kebocoran pada air radiator, oli mesin dan bahan bakar solar. Setelah mesin running dan tidak terjadi kebocoran, baru dimulai pengambilan data temperatur panas gas buang

(T_h), temperatur bahan bakar (T_c), tekanan gas buang (P_g), tekanan bahan bakar (P_f), kecepatan aliran gas buang (V_g), kecepatan aliran bahan bakar (V_f) dan kandungan emisi gas buang pada berbagai variasi putaran kerja 750, 1000, 1250 dan 1500 rpm tanpa pembebanan.

Setelah semua data diperoleh, mesin diesel dikembalikan pada putaran stasioner selama ± 1 menit setelah itu mesin diesel dimatikan dengan maksud untuk menurunkan temperatur bahan bakar agar diperoleh data yang valid pada pengujian berikutnya. Merakit *helical coil tube* 1 dan peralatan ukur *thermocouple* type K pada sisi masuk, sisi keluar gas buang, sisi masuk dan sisi keluar bahan bakar pada shell. Setelah *helical coil tube* 1 dan masing-masing *thermocouple* terpasang pada shell, install pada mesin diesel. Periksa kembali mesin diesel dan pastikan tidak ada kebocoran serta temperatur bahan bakar sudah kembali pada temperatur normal yaitu 30-35°C. Jalankan mesin diesel pada putaran stasioner selama ± 2 menit. Naikkan putaran mesin diesel pada 750, 1000, 1250 dan 1500 rpm dan dijaga konstan selama ± 5 menit tanpa pembebanan. Dalam kurun waktu pada putaran masing-masing tersebut diambil data temperatur panas gas buang (T_h), temperatur bahan bakar (T_c), tekanan gas buang (P_g), tekanan bahan bakar (P_f), kecepatan aliran gas buang (V_g), kecepatan aliran bahan bakar (V_f) dan kandungan emisi gas buang. Setelah semua data diperoleh, mesin diesel dikembalikan pada putaran stasioner selama ± 1 menit setelah itu mesin diesel dimatikan dengan maksud menurunkan temperatur bahan bakar agar diperoleh data yang valid untuk pengujian *helical coil tube* yang selanjutnya. Lakukan kembali langkah awal untuk *helical coil tube* 2,3,dan 4. Setelah semua data diperoleh untuk masing-masing *helical coil tube*, lakukan kembali langkah awal dengan variasi pembebanan.



Gambar 2.2 Mesin KIA Diesel yang digunakan pada pengujian

Tabel 2.1. Dimensi helical coil

| Segmen coil | Diameter tube (inci) | Diameter coil (inci) | Jarak coil (mm) |
|-------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | 5/16" | 2 1/2" | 10 |
| 2 | 5/16" | 3" | 10 |
| 3 | 5/16" | 3 1/2" | 10 |



Gambar 2.3 Helical coil tube

Laju perpindahan kalor yang diserap oleh bahan bakar dalam *helical coil tube*) dapat ditentukan dengan persamaan,

$$Q_c = \dot{m}_f \times cp_f \times (T_{c2} - T_{c1}) \quad (1)$$

dengan Q_c adalah kalor yang diserap bahan bakar solar, \dot{m}_f adalah laju aliran massa bahan bakar, cp_f adalah kalor jenis bahan bakar, T_{c1} dan T_{c2} adalah temperatur bahan bakar solar masuk dan keluar tube.

Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas (gas buang) dalam shell ditentukan dengan persamaan,

$$Q_h = \dot{m}_E \times cp_E \times (T_{h1} - T_{h2}) \quad (2)$$

dengan Q_h adalah kalor yang dilepas gas buang, \dot{m}_E adalah laju aliran massa gas buang, cp_E adalah kalor jenis gas buang, T_{h1} dan T_{h2} adalah temperatur gas buang masuk dan keluar *shell*.

Beda temperatur rata-rata logaritmik ditentukan menggunakan persamaan,

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3)$$

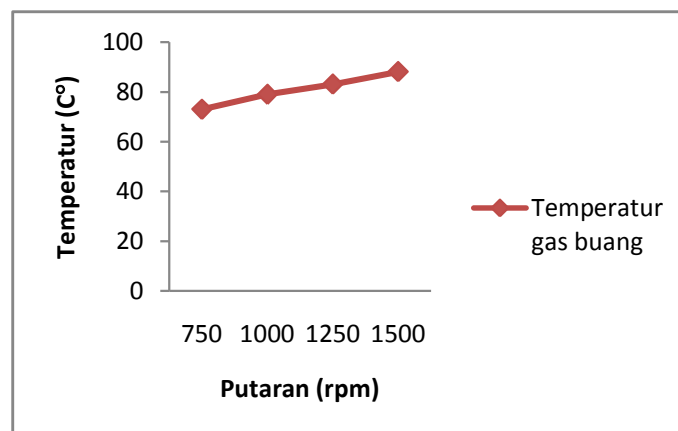
Efektivitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) didefinisikan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{Q_{avg}}{Q_{max}} \quad (4)$$

dengan ϵ adalah efektivitas alat penukar kalor, Q_{avg} adalah perpindahan kalor rata-rata alat penukar kalor, Q_{max} adalah perpindahan kalor maksimum alat penukar kalor .

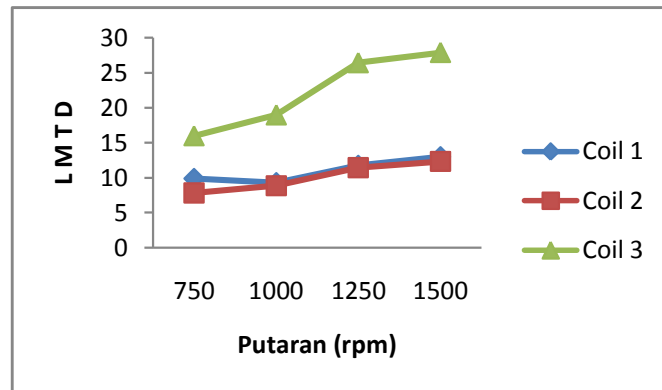
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 3.1 menunjukkan hubungan temperatur gas buang dan putaran pada mesin KIA diesel. Pada gambar memperlihatkan bahwa kenaikan temperatur gas buang berbanding lurus dengan bertambahnya putaran mesin. Hal ini dikarenakan proses pembakaran pada putaran tinggi menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur , tetapi karena proses pembakaran tersebut memerlukan waktu maka tekanan maksimum dan temperatur maksimumnya terjadi beberapa saat setelah torak mulai turun kebawah (langkah ekspansi). Selanjutnya gas hasil pembakaran dipaksa keluar dari silinder oleh torak yang bergerak dari bawah keatas (langkah buang) melalui saluran buang (*exhaust manifold*).



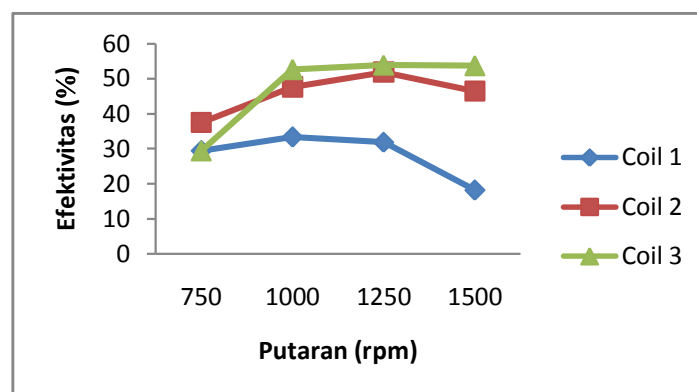
Gambar 3.1 Grafik temperatur gas buang pada berbagai putaran operasional mesin KIA diesel

Pada gambar 3.2 menunjukkan Beda temperatur rata-rata logaritmik(LMTD) dari alat penukar kalor *shell helical coil tube*. Pada gambar, memperlihatkan LMTD dari alat penukar kalor *shell helical coil tube* pada berbagai putaran operasional. Terlihat bahwa LMTD pada *coil3* lebih signifikan jika dibandingkan dengan coil yang lain.



Gambar 3.2 Grafik LMTD alat penukar kalor *shell helical coil tube*

Pada gambar 3.3 menunjukkan nilai keefektifitasan alat penukar kalor *shell helical coil tube*. Pada gambar, memperlihatkan unjuk kerja (*performance*) dari alat penukar kalor *shell helical coil tube* dalam memanfaatkan limbah panas gas buang dalam memanaskan bahan bakar solar pada berbagai putaran operasional. Terlihat bahwa unjuk kerja (*performance*) *coil3* yang terbaik dalam pengambilan limbah panas dari gas buang karena ada peningkatan yang signifikan dari unjuk kerjanya jika dibandingkan dengan *coil 1* dan *coil 2*.



Gambar 3.3 Grafik efektivitas alat penukar kalor *shell helical coil tube*

Daftar notasi:

- Q_h = kalor yang dilepas gas buang, kW
- Q_c = kalor yang diserap bahan bakar solar, kW
- T_h = suhu gas buang, °C
- T_c = suhu bahan bakar solar, °C
- LMTD = beda temperatur rata-rata logaritmik
- ϵ = efektivitas penukar kalor, %

IV. KESIMPULAN

Studi eksperimental ini efektivitas alat penukar kalor *shell helical coil tube* dengan memanfaatkan limbah panas gas buang mesin diesel sebagai pemanas bahan bakar solar telah dilakukan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa,

1. Dengan naiknya putaran sampai dengan putaran operasional kerja maksimum dari suatu mesin diesel akan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur dari gas buang mesin diesel tersebut. Jelas bahwa ada energi panas yang selama ini terbuang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan bahan bakar guna menyempurnakan pembakaran dengan membuat campuran yang mudah terbakar pada temperatur yang rendah sehingga dapat memperpendek kelambatan penyalaan (*ignition delay*).
2. Geometri dari diameter coil yang kecil dan jarak coil yang lebih rapat sangat efektif memaksimalkan pengambilan panas dari gas buang sehingga unjuk kerja (performance) pada alat penukar kalor tersebut sangat baik dan sesuai untuk berbagai putaran kerja.

V. REFERENSI

- [1] Ankanna, B.C., Reddy, B.S., 2014, Performance Analysis of Fabricated Helical Coil Heat Exchanger, *International Journal of Engineering Research*, vol. 3, pp. 33 – 39.
- [2] Ahire, S., Shelke, P., Shinde, B., Totala, N., 2014, Fabrication and Analysis of Counter Flow Helical Coil Heat Exchanger, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 15.
- [3] Ghorbani, N., Taherian, H., Gorji, M., Mirgolbabaee, H., 2010, Experimental Study of Mixed Convection Heat Transfer in Vertical Helically Coiled Tube Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Science*, vol. 34, pp. 900 – 905.
- [4] Ghorbani, N., Taherian, H., Gorji, M., Mirgolbabaee, H., 2010, An Experimental Study of Thermal Performance of Shell and Coil Heat Exchangers, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, pp. 775 – 781.
- [5] Hatami, M., Ganji, D.D., Bandyopadhyay, M.G., 2014, A Review of Different Heat Exchanger Design for Increasing The Diesel Exhaust Waste Heat Recovery, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 168 – 181.
- [6] Jadhao, J.S. and Thombare, D.G., 2013, Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I.C. Engine, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2, no. 12.
- [7] Moawad, M., 2011, Experimental Study of Forced Convection from Helical Coiled Tubes with Different Parameters, *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 1150 – 1156.
- [8] Naphon, P., Wongwises, S., 2006, A Review of Flow and Heat Transfer Characteristic in Curved Tubes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, pp. 463 – 490.
- [9] Naphon, P., 2007, Thermal Performance and Pressure Drop of The Helical Coil Heat Exchangers with and without Helically Crimped Fins, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 34, pp. 321 – 330.
- [10] Prabhanjan, D.G., Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., 2002, Comparison of Heat Transfer Rates Between a Straight Tube Heat Exchanger and Helically Coiled Heat Exchanger, *International Communications in Heat Mass Transfer*, vol. 29, no. 2, pp. 185 – 191.
- [11] Pradhan, P., Raheman, H., Padhee, D., 2014, Combustion and Performance of a Diesel Engine with Preheated Jatropha Curcas oil Using Heat from Exhaust Gas, *Fuel*, vol.115, pp. 527 – 533.
- [12] Salimpour, M.R., 2008, Heat Transfer Characteristics of a Temperature Dependent Property Fluid in Shell and Coiled Tube Heat Exchangers, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, pp. 1190 – 1195.
- [13] Salimpour, M.R., 2009, Heat Transfer Coefficients of Shell and Coiled Tube Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 33, pp. 203 – 207.
- [14] Saidur, R.R., 2009, Energy and Emission Analysis for Industrial Motors in Malaysia, *Energy Policy*, vol. 37, pp. 3650 – 8.
- [15] Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W.K., Hasan, M.H., Paria, S., Hasanuzzaman, M., 2012, Technologies to Recover Exhaust Heat from Internal Combustion Engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5649 – 59.