

PERANCANGAN SISTEM BAHAN BAKAR HIBRIDA DIESEL DAN LNG PADA KENDARAAN LOGISTIK

Madina Annanisa^{1§§} dan Ismail²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN), khususnya target bauran energi, Indonesia harus mengurangi konsumsi BBM hingga menjadi 26% pada tahun 2050. Penyumbang konsumsi BBM terbesar pada sektor transportasi sehingga perlu dilakukan konversi dari BBM ke bahan bakar alternatif lain. Salah satu bahan bakar yang telah banyak digunakan di dunia adalah Bahan Bakar Gas (BBG), namun penerapannya di Indonesia masih sangat rendah. Program konversi ini akan diterapkan pada kendaraan logistik di PT X yang awalnya menggunakan bahan bakar diesel menjadi berbahan bakar hibrida diesel dan LNG. Dari hasil evaluasi sistem bahan bakar HPDI 2.0 paling optimal untuk digunakan pada kendaraan logistik di PT X karena mampu mengonversi bahan bakar diesel sebesar 90%, sehingga investasi ini dinyatakan layak secara ekonomi dengan *payback period* selama 5 tahun. Keuntungan yang didapat dari sistem tersebut berupa penghematan bahan bakar sebesar Rp 88.924.452/tahun. Perancangan sistem bahan bakar HPDI 2.0 dimulai dari perancangan tiap komponen seperti tangki LNG, pompa LNG, *heat exchanger*, filter, *storage* CNG, dan regulator. Agar program konversi bahan bakar kendaraan ini dapat berjalan terdapat beberapa faktor pendukung yang harus dipenuhi antara lain ketersediaan *refuelling station*, ketersediaan kendaraan, dan pemberian insentif untuk pemilik kendaraan.

Kata kunci— *Kendaraan Logistik Hibrida; Diesel; LNG.*

PENDAHULUAN

Keadaan di Indonesia mendukung pertumbuhan bisnis logistik dari tahun ke tahun, seiring dengan peningkatan kebutuhan konsumsi masyarakat dan perkembangan teknologi yang semakin canggih. Pertumbuhan bisnis logistik ini tentunya diikuti dengan pertumbuhan sarana pendukung, salah satunya kendaraan. Kenaikan jumlah kendaraan logistik ini tentunya diiringi dengan peningkatan jumlah energi, khususnya bahan bakar solar. Untuk memenuhi konsumsi solar yang semakin besar, pemerintah meningkatkan impor BBM sehingga berimbas pada defisit neraca perdagangan di sektor minyak dan gas (migas). Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN), khususnya target bauran energi, Indonesia harus mengurangi konsumsi BBM hingga menjadi 26% pada tahun 2050. Perlu dicari bahan bakar substitusi untuk kendaraan logistik yang dapat menjadi solusi atas permasalahan tersebut.

PT X merupakan perusahaan yang bergerak di sektor industri semen. Kendaraan logistik di PT X beroperasi menggunakan bahan bakar diesel. Dalam rangka efisiensi PT X akan mengonversi bahan bakar kendaraan logistik yang awalnya berbahan bakar diesel menjadi berbahan bakar hibrida diesel dan LNG. Diharapkan dengan berhasilnya pengkonversian kendaraan logistik pada PT X dapat menarik pelaku industri lain untuk ikut menggunakan teknologi ini. Sehingga program konversi LNG (*Liquefied Natural Gas*) ini akan didukung oleh pemerintah dan pada akhirnya dapat mengurangi konsumsi BBM khususnya bahan bakar diesel di Indonesia.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis keuntungan dari mengonversi kendaraan logistik di PT X menjadi berbahan bakar hibrida diesel dan LNG.

§§ Madina Annanisa: madina.annanisa@gmail.com

2. Menentukan sistem bahan bakar hibrida diesel dan LNG yang optimal pada kendaraan logistik di PT X.

Cakupan Penelitian

Perancangan hibrida kendaraan logistik berbahan bakar hibrida diesel dan LNG perlu ditinjau dari banyak aspek, untuk itu pada penelitian ini akan dibatasi pada faktor berikut:

1. Kendaraan logistik berupa Truk Angkutan Muat di PT X
2. Wilayah operasi di Pulau Jawa
3. Kendaraan logistik menggunakan bahan bakar diesel berjenis HSD (*High Speed Diesel*).

TINJAUAN PUSTAKA

Gas bumi merupakan bahan bakar berfasa gas yang berasal dari perut bumi. Gas bumi dapat ditemukan di sumur minyak, sumur gas bumi dan juga tambang batu bara [1]. Komposisi gas bumi bervariasi antara sumber yang satu dengan sumber yang lain. Di beberapa sumber, gas bumi memerlukan pemrosesan tambahan sebelum dapat digunakan. Salah satu tahapan pemrosesan gas bumi pada tahapan pengangkutan, pada tahapan ini gas bumi yang telah memenuhi spesifikasi akan diangkat untuk menuju ke lokasi niaga gas. Beberapa moda pengangkutan gas bumi antara lain gas pipa, CNG (*Compressed Natural Gas*), dan LNG. Pengangkutan dengan moda CNG dan LNG berfungsi agar memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi dari gas bumi normal. Untuk mengubah gas bumi menjadi CNG maupun LNG memerlukan proses pengolahan tambahan. Pada LNG, gas bumi yang awalnya berfasa gas akan diubah menjadi fasa cair dengan suhu yang sangat rendah (*cryogenic*).

Agar LNG dapat digunakan perlu dilakukan konversi pada kendaraan beberapa teknologi yang sudah banyak diterapkan, antara lain *dedicated*, *bi-fuel*, dan *dual fuel*. Agar konversi bahan bakar kendaraan mendapatkan hasil yang optimal perlu dicari teknologi yang tepat. Pemilihan teknologi ini kembali lagi bergantung pada kondisi operasi dan tujuan dilakukannya konversi itu sendiri. Beberapa teknologi konversi bahan bakar antara lain [2]:

a. *Dedicated*

Konversi bahan bakar dengan berteknologi *dedicated* berarti kendaraan hanya dapat menggunakan satu jenis bahan bakar. Sehingga apabila bahan bakar kendaraan telah dikonversi sudah tidak dapat lagi menggunakan bahan bakar yang lama. Pada teknologi kendaraan *dedicated* biasanya harus melakukan banyak perubahan pada sistem mesin. Sebagai contoh mobil yang bermesin diesel bila ingin *dedicated* berbahan bakar LNG harus mengubah mesin diesel menjadi mesin gas.

b. *Bi-Fuel*

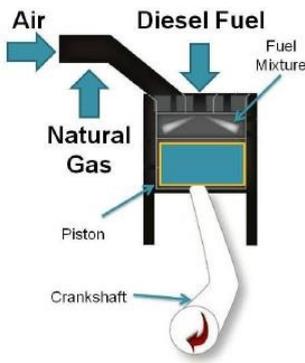
Sistem *bi-fuel* dapat dipilih bahan bakar apa yang akan dipakai. Kendaraan memiliki dua sistem bahan bakar yang terpisah, sehingga memungkinkan untuk memilih salah satu bahan bakar yang akan digunakan. Pada umumnya sistem *bi-fuel* digunakan untuk kendaraan ringan. Sistem *bi-fuel* termuktahir, pergantian bahan bakar dapat dilakukan secara otomatis, apabila bahan bakar alternatif (contohnya: CNG, LPG) habis dapat langsung berganti ke bahan bakar aslinya.

c. *Dual Fuel*

Sistem *dual fuel* akan terjadi proses pencampuran dua bahan bakar di dalam ruang bakar mesin. Walaupun jenis kendaraan ini memiliki dua sistem bahan bakar yang terpisah, tetapi bahan bakar akan dicampur pada ruang bakar dengan persentase tertentu. Pada sistem ini tidak akan mengubah karakteristik mesin, namun masih dapat mengurangi konsumsi bahan bakar aslinya. Sehingga *dual fuel* banyak digunakan untuk kendaraan berat karena konversi ke bahan bakar alternatif dapat berpotensi mengurangi performa mesin. Apabila bahan bakar alternatif habis, tidak perlu melakukan penggantian. Secara otomatis bahan bakar asli akan digunakan 100% sehingga mesin akan beroperasi seperti semula.

Terdapat beberapa teknologi yang dapat diterapkan pada mesin diesel *dual fuel*, salah satunya teknologi yang dikembangkan oleh perusahaan American Power Group melalui produknya V5000.[3]. LNG yang telah menjadi CNG difumigasi dengan udara pada saluran masuk melalui venturi yang dipasang sebelum *turbocharger* pada mesin *dual fuel*. Gas yang mengalir diatur dengan *throttle valve*. Banyaknya gas yang dialirkan pada saluran masuk tergantung dari beban mesin dan kecepatan. Campuran udara dan gas dikompresi pada silinder lalu akan

diinjeksikan sedikit bahan bakar diesel pada akhir langkah kompresi untuk menginisiasi pembakaran. Cara kerja mesin diesel *dual fuel* dapat dilihat pada Gambar 1 [4]:

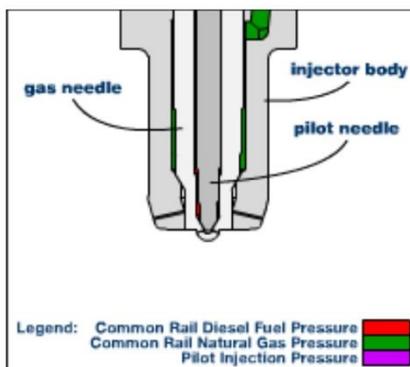


Gambar 1 Operasi Mesin Dual Fuel [5]

Sistem ini tidak memerlukan modifikasi pada sistem kerja internal mesin ataupun sistem injeksi bahan bakar diesel. Gas akan mengonversi kebutuhan diesel untuk menjalankan mesin, sehingga dapat mengurangi konsumsi diesel untuk menghasilkan daya keluaran yang sama [4]. Bahan bakar gas bumi dapat mensubstitusi bahan bakar diesel dengan proporsi yang bervariasi tergantung dengan kondisi operasi. Tingkat substitusi sistem *dual fuel* dioptimasi dengan sistem sensor dan sistem kontrol logika yang terdapat pada paket peralatan. Banyak faktor mempengaruhi tingkat substitusi bahan bakar aktual, namun secara umum tingkat substitusi gas sebesar 50% - 60% energi. Terdapat rentang kondisi operasi beban mesin dan kecepatan mesin optimal yang dapat memaksimalkan tingkat substitusi gas bumi, rentang ini disebut “sweet spot” [5].

Teknologi lain untuk mesin diesel *dual fuel* adalah dengan *High Pressure Direct Injection* (HPDI) 2.0 dari Westport. Pada sistem ini LNG dapat mengonversi 90% - 95% konsumsi diesel. Namun diperlukan penggantian komponen pada sistem bahan bakar diesel eksisting. Penggantian yang perlu dilakukan pada komponen injektor, injektor digantikan dengan produk HPDI 2.0. Pada sistem ini tidak terjadi pencampuran gas dengan udara maupun diesel, pencampuran hanya akan terjadi pada saat pembakaran di dalam silinder [6].

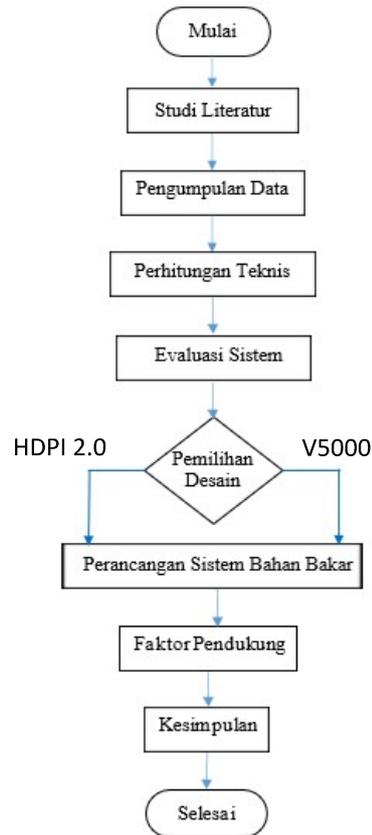
Pada HPDI 2.0 terdapat 2 saluran pada injektor, yaitu saluran diesel dan saluran gas. Bahan bakar diesel akan diinjeksikan pada akhir langkah kompresi, lalu ketika sudah terjadi pembakaran gas akan diinjeksikan ke silinder. Pengoperasian HPDI 2.0 dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Operasi HPDI 2.0 [6]

METODE PENELITIAN

Pada pembahasan sebelumnya telah diketahui beberapa teknologi yang dapat diterapkan pada konversi bahan bakar kendaraan. Pada penelitian ini konversi bahan bakar hibrida akan menggunakan teknologi *dual fuel*. Selanjutnya dari teknologi *dual fuel* tersebut terdapat 2 jenis sistem bahan bakar yang dapat diterapkan, antara lain sistem bahan bakar V5000 dan sistem bahan bakar HPDI 2.0. Berikut ini uraian dari metode yang digunakan dalam melakukan penelitian:



Gambar 3 Diagram Metode Penelitian

Pada penelitian ini penulis akan merancang sistem bahan bakar dari yang awalnya menggunakan bahan bakar diesel menjadi berbahan bakar hibrida diesel dan LNG pada kendaraan logistik di PT X. Merk kendaraan logistik yang digunakan pada PT X adalah truk Hino FM 260 JD. Untuk merancang konversi tersebut perlu dievaluasi kelebihan apa saja yang ditawarkan masing – masing sistem. Lalu, dilakukan pemilihan teknologi yang akan digunakan untuk perancangan. Selanjutnya perlu dicari faktor pendukung agar program konversi LNG pada kendaraan logistik dapat berjalan sukses di Indonesia.

a. Studi Literatur

Tahap studi literatur digunakan untuk mencari semua informasi yang mendukung penelitian ini. Beberapa tinjauan pustaka yang diperlukan antara lain mengenai gas bumi secara umum, pendahuluan mengenai LNG, prinsip kerja mesin diesel dan perhitungan performa mesinnya, jenis-jenis bahan bakar alternatif untuk kendaraan, teknologi yang diterapkan pada konversi bahan bakar, dan aplikasi kendaraan Bahan Bakar Gas (BBG) di seluruh dunia. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal, riset, laporan, dan bahan-bahan lain yang telah tercantum pada Daftar Pustaka.

b. Pengumpulan Data

Pada tahap ini penulis mengumpulkan data-data sebelum diolah lebih lanjut. Data-data yang akan dikumpulkan antara lain spesifikasi mesin Hino FM 260 JD, konversi konsumsi bahan bakar diesel menjadi konsumsi LNG, komponen-komponen yang perlu dikonversi untuk menggunakan bahan bakar LNG, data operasi PT X, harga bahan bakar diesel dan LNG, besaran emisi kendaraan diesel, dan aplikasi kendaraan LNG di negara-negara lain.

Spesifikasi mesin Hino FM 260 JD digunakan untuk mengetahui spesifikasi teknis mesin dan dimensi mesin. Data spesifikasi teknis mesin yang sangat diperlukan adalah data konsumsi bahan bakar spesifik dari mesin tersebut. Selanjutnya, data persentase konsumsi bahan bakar diesel menjadi bahan bakar LNG didapat dari spesifikasi sistem yang dipilih. Pada Bab 2 telah dibahas mengenai teknologi *dual fuel* dimana terdapat sistem bahan bakar HPDI 2.0 dan V5000, kedua sistem ini yang akan dirancang dan dievaluasi hasilnya pada penelitian ini.

Data operasi PT X yang dibutuhkan antara lain data jam operasi, jarak/rute perjalanan, dan konsumsi bahan bakar truk Hino FM 260 JD. Sebagai pengayaan dapat ditambahkan beberapa kondisi lingkungan yang mempengaruhi transportasi kendaraan logistik tersebut. Harga bahan bakar diesel mengacu pada data yang dipublikasikan PT Pertamina untuk tingkat agen, sedangkan harga LNG akan mengacu pada harga rata-rata LNG di Indonesia. Bersarnya kandungan emisi kendaraan diesel dipengaruhi dari bahan bakar yang digunakan, data ini akan mengacu pada Standar Euro VI yang mengatur kadar emisi dari kendaraan *dual fuel* berbahan bakar diesel dan LNG. Aplikasi kendaraan LNG di negara-negara lain akan memberikan gambaran mengenai tantangan dalam memulai program konversi ini, sehingga dapat dicari faktor-faktor pendukung apa saja yang perlu dipersiapkan di Indonesia.

c. Perhitungan Teknis

Tahap awal dalam merancang sistem bahan bakar LNG pada kendaraan Hino FM 260 JD adalah dengan menghitung konsumsi bahan bakar. Data konsumsi bahan bakar spesifik didapat dari spesifikasi mesin Hino FM 260 JD. Selanjutnya akan dihitung konsumsi bahan bakar diesel pada truk Hino FM 260 JD dengan persamaan (1) berikut:

$$FOC_{load} = \frac{BPH_{load}}{HP_{load}} \times SFOC_{load} \times t \times 10^{-6}$$

Keterangan:

FOC_{load} = Fuel Oil Consumption / konsumsi bahan bakar diesel (ton)

$SFOC_{load}$ = Specific Fuel Oil Consumption / konsumsi bahan bakar spesifik diesel (g/kWh)

BPH_{load} = Brake Horse Power / daya rem (kW)

Selanjutnya dihitung konsumsi bahan bakar pada truk Hino FM 260 JD apabila berbahan bakar hibrida diesel dan LNG. Konversi bahan bakar ini akan mengacu pada nilai konversi LNG dari masing-masing sistem yang dipilih sehingga akan didapat besarnya konsumsi bahan bakar LNG per hari.

d. Evaluasi Sistem Bahan Bakar Hibrida

Pada tahap ini beberapa aspek yang akan dievaluasi adalah aspek teknis, aspek lingkungan dan aspek ekonomis. Dari sisi teknis akan dibahas mengenai keuntungan yang didapatkan apabila menggunakan sistem bahan bakar hibrida berteknologi *dual fuel* LNG dan diesel. Pada aspek teknis akan dijabarkan dari sisi *ouput* daya dan torsi kendaran, penggantian komponen kendaran, dan peluang bahan bakar diesel yang dapat dikonversi dengan bahan bakar LNG.

Dari sisi lingkungan akan dibahas mengenai pengurangan emisi kendaraan setelah menggunakan sistem bahan bakar hibrida berteknologi *dual fuel* diesel dan LNG. Lalu, dari aspek keekonomian akan dihitung kelayakan dari program konversi bahan bakar ini, sampai pada tahun ke berapa investasi yang dikeluarkan dapat kembali. Program konversi pada kendaraan logistik di PT X ini dinyatakan layak apabila *payback period* (PBP) lebih rendah dari masa pemanfaatan kendaraan truk.

Apabila dari ketiga hasil evaluasi ternyata penggunaan sistem bahan bakar hibrida *dual fuel* diesel dan LNG pada kendaraan logistik di PT X tidak memberikan kelebihan dibandingkan sistem bahan bakar sebelumnya, maka perlu melakukan perubahan teknologi maupun rancangan sistem bahan bakar menjadi lebih efisien, dan optimal dan dapat memberikan nilai tambah pada PT X.

e. Perancangan Sistem Bahan Bakar

Perancangan ini ditentukan dari sistem yang dipilih, yaitu sistem HDPI 2.0 atau sistem V5000. Beberapa komponen yang perlu ditambahkan antara lain tangki LNG, pompa bahan bakar LNG, *heat exchanger*, *storage* CNG, saluran bahan bakar LNG, dan peralatan kontrol LNG valve regulator tekanan, *flow control valve*, dan alat – alat instrumentasi lainnya.

Dari sistem bahan bakar LNG yang telah dirancang perlu dilakukan perhitungan spesifikasi desain dari komponen inti rancangan tersebut. Pada penelitian ini komponen yang akan dihitung antara lain tangki LNG dan pompa LNG, dikarenakan kedua komponen ini merupakan komponen inti pada sistem bahan bakar ini. Spesifikasi desain ini pastinya berbeda pada tiap sistem, maka perlu dihitung spesifikasi desain dari sistem terpilih.

f. Faktor Pendukung

Dari keunggulan konversi bahan bakar LNG pada kendaraan logistik yang telah dievaluasi pada tahap sebelumnya, dapat dilihat bahwa perlu dilakukan akselerasi program ini di Indonesia. Indonesia yang masih awam dalam hal ini dapat merujuk pada negara-negara yang sudah melaksanakan program ini secara masif. Dari pengalaman-pengalaman negara lain dapat diambil faktor-faktor pendukung program ini yang dapat diterapkan di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT X merupakan merupakan industri di sektor semen. Proses logistik PT X dikelola oleh 26 perusahaan logistik, dengan tujuan pengiriman yang mencapai 1.200 titik tiap harinya. Dalam satu hari jumlah kendaraan logistik PT X yang beroperasi lebih dari 5.000 unit. Setiap harinya PT X mengirimkan truk logistik dari Pabrik PT X ke Pelabuhan Khusus PT X yang berjarak sejauh 10 km. Truk logistik ini digunakan untuk mengangkut batu bara yang akan digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik PT X. Kendaraan logistik yang akan dikonversi pada penelitian ini adalah truk Hino FM 260 JD. Tabel 1 menunjukkan data operasi dari PT X dan spesifikasi dari truk Hino FM 260 JD:

Tabel 1 Data Kondisi Operasi

No	Parameter	Besaran
1	Ritase	9/hari
2	Kecepatan Truk	20 – 40 km/jam
3	Model Mesin	J08E-UF
4	Bahan Bakar	Diesel
5	Aspiration	Turbocharger Intercooler
6	Tipe Injeksi	Direct Injection
7	Jumlah Langkah	4
8	Tenaga Maksimum	260 (pada 2.500 rpm)
9	SFOC (<i>Specific Fuel Oil Ratio</i>)	168
10	Rasio Kompresi	18:1

Dari data yang telah tersedia dapat dihitung konsumsi bahan bakar diesel pada beban maksimal (*full load*) dengan persamaan (1) seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{FOC}_{\text{load}} &= \text{BHP}_{\text{load}} \times \text{SFOC}_{\text{load}} \times t \times 10^{-6} \\ &= 260 \text{ PS} \times 168 \text{ g/PS jam} \times 1 \text{ jam} \times 10^{-6} = 0,044 \text{ ton/jam} = 0,012 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, konsumsi bahan bakar spesifik diesel sebesar 0,044 ton/jam. Dengan total energi bahan bakar sebesar:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Diesel}} &= \dot{m} \times \text{GHV}_{\text{Diesel}} \\ &= 0,044 \text{ ton/jam} \times 43,448 \text{ MJ/kg} = 1.909,6 \text{ MJ/jam} = 0,53 \text{ MJ/s} \end{aligned}$$

Spesifikasi produk HPDI 2.0 menyatakan bahwa konversi LNG sebesar 90% - 95% dari bahan bakar diesel. Untuk merancang sistem bahan bakar LNG maka akan diambil rentang maksimum yaitu konversi LNG sebesar 95%, maka didapat laju konsumsi LNG pada sistem HPDI 2.0 sebesar 0,01 kg/s seperti berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{LNG HPDI 2.0}} &= 95\% \times Q_{\text{Diesel}} \\ &= 95\% \times 0,53 \text{ MJ/s} = 0,504 \text{ MJ/s} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{\text{LNG HPDI 2.0}} = \frac{Q_{\text{LNG HPDI 2.0}}}{\text{GHV}_{\text{LNG}}}$$

$$= \frac{0,504 \text{ MJ/s}}{48,632 \text{ MJ/kg}} = 0,01 \text{ kg/s}$$

Sedangkan pada produk V5000 konversi LNG hanya sebesar 50% - 60% dari bahan bakar diesel. Untuk merancang sistem bahan bakar LNG maka akan diambil rentang maksimum yaitu konversi LNG sebesar 60%, maka didapat laju konsumsi LNG pada sistem HPDI 2.0 sebesar 0,007 kg/s seperti berikut:

$$Q_{\text{LNG V5000}} = 60\% \times Q_{\text{Diesel}}$$

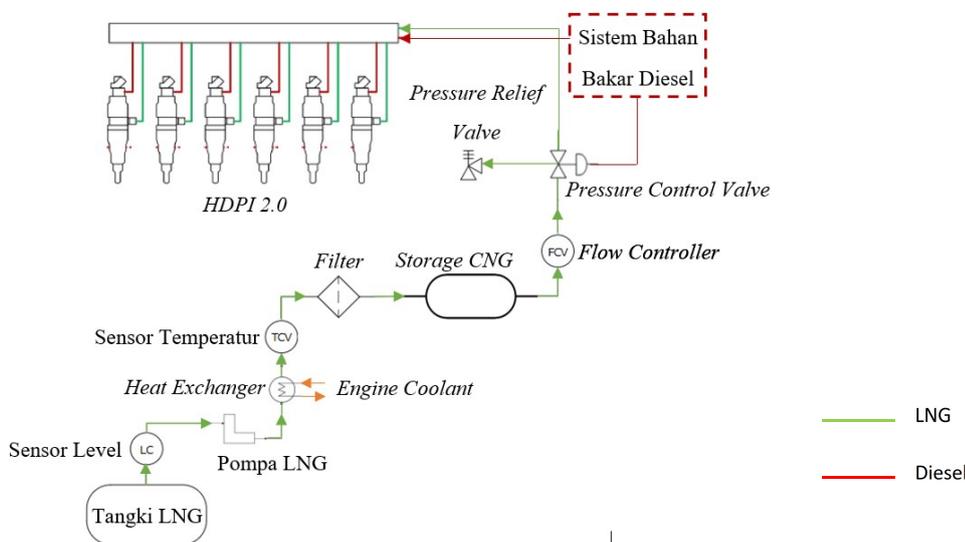
$$= 60\% \times 0,53 \text{ MJ/s} = 0,318 \text{ MJ/s}$$

$$\dot{m}_{\text{LNG V5000}} = \frac{Q_{\text{LNG V5000}}}{\text{GHV}_{\text{LNG}}}$$

$$= \frac{0,318 \text{ MJ/s}}{48,632 \text{ MJ/kg}} = 0,007 \text{ kg/s}$$

LNG yang digunakan sebagai bahan bakar diisi dari *refuelling station*, kondisi operasi dari *refuelling station* akan menentukan penanganan LNG dalam sistem bahan bakar kendaraan. Pada *refuelling station* LNG berfase *unsaturated liquid* dan rata-rata kondisi operasi *refueling station* bertekanan 1,66 MPa dan temperatur -131,67 °C.

Pada pembahasan sebelumnya masih membahas mengenai 2 produk yaitu produk HPDI 2.0 dari Westport dan produk V5000 dari American Power Group (APG). Untuk menggunakan produk HPDI 2.0 memerlukan beberapa perubahan komponen pada kendaraan Hino FM 260 JD. HPDI 2.0 akan menggantikan injektor bawaan pabrik (OEM) Hino FM 260 JD, lalu diperlukan sistem bahan bakar LNG untuk ditambahkan pada kendaraan. Untuk sistem bahan bakar diesel sendiri tidak ada perubahan. Gambar 4 merupakan diagram alir dari sistem bahan bakar LNG pada HPDI 2.0:



Gambar 4 Diagram Alir Sistem Bahan Bakar LNG HPDI 2.0

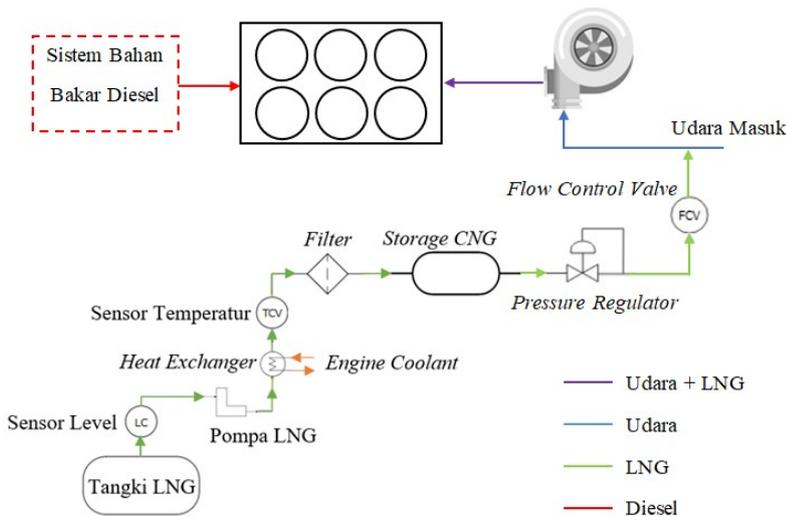
Pertama-tama LNG dari *refuelling station* akan disimpan pada tangki LNG, tangki ini dilengkapi dengan alat instrumentasi sensor Level untuk mengetahui ketersediaan LNG yang tersimpan pada tangki. Dari tekanan LNG yang sebesar 1,66 MPa lalu selanjutnya dipompa dengan pompa LNG, pompa LNG ini merupakan pompa khusus karena tekanan LNG tinggi dan temperturnya sangat rendah. Setelah LNG dipompa, lalu LNG akan dilewatkan pada *heat exchanger*. *Heat exchanger* ini akan menukar panas antara LNG dengan *engine coolant*, sehingga akan merubah fasa LNG dari yang cair menjadi gas. Namun gas ini masih bertekanan tinggi sehingga disebut *Compressed Natural Gas (CNG)*. Pada proses ini memerlukan alat instrumentasi untuk mengontrol temperatur. Setelah LNG berubah menjadi CNG perlu dilewatkan ke *filter* untuk menyaring kotoran yang mungkin terikut. Selanjutnya CNG akan disimpan pada tangki penyimpanan, CNG yang akan keluar dari tangki diatur menggunakan alat instrumentasi kontrol aliran.

Setelah itu, CNG akan melalui kontrol tekanan. Kontrol tekanan ini untuk menyesuaikan tekanan CNG dengan tekanan bahan bakar diesel. Tekanan bahan bakar diesel setelah dipompa sekitar 196 kPa. Sehingga kontrol tekanan berupa regulator untuk menurunkan tekanan CNG. Selain itu kontrol tekanan ini dilengkapi dengan *pressure relief valve* sebagai instrument keselamatan dengan membuang CNG ke lingkungan. Selanjutnya CNG akan dialirkan ke *common rail*. *Common rail* ini sendiri sudah sepaket dengan injector HPDI 2.0. Pada HPDI 2.0 tidak ada pencampuran antara bahan bakar diesel dengan bahan bakar CNG. Pada sistem ini juga tidak diperlukan proses pengapian. CNG diinjeksikan ke dalam silinder pada akhir langkah kompresi. CNG membutuhkan temperatur pengapian lebih tinggi dibandingkan dengan diesel, sehingga diesel perlu diinjeksikan terlebih dahulu untuk menginisiasi pengapian baru setelahnya CNG akan diinjeksikan ke silinder. CNG akan langsung terbakar karena tingginya temperatur dari pembakaran diesel.

Tidak seperti pada HPDI 2.0, untuk menggunakan produk V5000 tidak memerlukan perubahan komponen pada kendaraan Hino FM 260 JD. Pada sistem V5000 hanya diperlukan penambahan sistem bahan bakar LNG pada kendaraan. Sedangkan untuk sistem bahan bakar diesel sendiri tidak ada perubahan. Setelah dari *storage*, CNG akan melewati valve regulator tekanan. CNG yang awalnya memiliki tekanan hingga 40 bar akan diturunkan sesuai dengan tekanan udara masuk *turbocharger* yaitu sekitar 1 atm. Lalu gas akan melewati valve pengatur aliran, valve ini akan mengatur banyaknya gas yang dicampurkan dengan udara. Gas yang sudah bercampur dengan udara di saluran masuk *turbocharger* akan melewati *turbocharger* untuk dinaikan tekanannya. Lalu campuran gas dan udara bertekanan ini akan dimasukkan ke silinder pada saat langkah hisap.

Keseluruhan sistem ini memerlukan proses kontrol yang kompleks sehingga diperlukan sistem kontrol terkomputerisasi. Semakin akurat sistem kontrol maka efisiensi semakin tinggi dan pembakaran lebih optimal.

Gambar 5 merupakan diagram alir dari sistem bahan bakar LNG pada V5000:



Gambar 5 Diagram Alir Sistem Bahan Bakar LNG V5000

Evaluasi dari ketiga aspek tersebut dapat tersebut dapat diambil perbandingan sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Evaluasi Produk HPDI 2.0 dan V5000

No	Kriteria	HPDI 2.0	V5000
1	Konversi LNG	90% - 95%	50% - 70%
2	Kembali ke operasi normal	Tidak	Ya, 100% diesel
3	Penggantian Komponen	Ya, penggantian injektor	Tidak
4	Penghematan per tahun	Rp 88.924.452	Rp 44.462.226
5	Payback Period (PBP)	5 tahun	10 tahun

Sistem V5000 tidak ekonomis dikarenakan PBP lebih dari masa pemanfaatan truk yaitu selama 8 tahun. PBP untuk sistem V5000 dan HPDI 2.0 tinggi dikarenakan kendaraan logistik truk Hino FM 260 JD di PT X beroperasi untuk jarak dekat sehingga konsumsi bahan bakar rendah. Namun hal ini menguntungkan karena jalur kendaraan dan jadwal pengoperasian tetap, sehingga memudahkan untuk pengaturan sistem pengisian bahan bakar LNG. Risiko kendaraan logistik Hino FM 260 JD kehabisan bahan bakar LNG sangat kecil. Sehingga kendaraan logistik Hino FM 260 JD lebih tepat menggunakan sistem HPDI 2.0.

Selanjutnya penentuan sistem bahan bakar HPDI 2.0 dari masing – masing komponen sebagai berikut:

a. Tangki LNG

Sebelumnya telah dihitung bahwa konsumsi bahan bakar LNG sebesar 0,037 ton/jam atau 0,01 kg/s. Berdasarkan SAE (Society of Automotive Engineers) Standard J2343, waktu penyimpanan LNG pada tangki LNG kendaraan selama 5 hari, waktu penyimpanan ini menunjukkan lamanya LNG dapat disimpan tanpa memerlukan venting dari BOG (*Boil of Gas*). Dikarenakan jarak tempuh yang pendek, maka untuk desain kendaraan logistik di PT X ditentukan untuk 1 hari. Sehingga untuk kapasitas tangki LNG dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{\text{Tangki}} = \frac{\dot{m}_{\text{LNG}} \times t}{\rho}$$
$$= \frac{37 \text{ kg/jam} \times 4,5 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ hari}}{420 \text{ kg/m}^3} = 0,395 \text{ m}^3$$

Maka, perlu dicari tangki LNG dengan spesifikasi dengan tekanan 1,6 MPa, temperatur -110 °C dan kapasitas sebesar 0,395 m³.

b. Pompa LNG

Pompa LNG yang akan digunakan berjenis pompa torak, pada pemilihan pompa harus memperhatikan kapasitas pompa dan *head* pompa. Dari pembahasan sebelumnya telah diketahui bahwa konsumsi bahan bakar LNG sebesar 0,037 ton/jam, sehingga kapasitas pompa LNG dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{\text{Pompa}} = \frac{\dot{m}_{\text{Tangki}}}{\rho}$$
$$= \frac{37 \text{ kg/jam}}{420 \text{ kg/m}^3} = 0,088 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,024 \text{ L/s}$$

Maka, perlu dicari pompa LNG dengan spesifikasi kapasitas sebesar 0,024 L/s dengan tekanan hisap sebesar 1,6 MPa dan tekanan keluar sebesar 4 MPa.

c. Heat Exchanger

Heat Exchanger yang akan digunakan bertipe *shell and tube* dengan aliran *cross flow*. LNG akan berukar panas dengan *engine coolant* yang merupakan etilena glikol. Sistem bahan bakar LNG tidak akan mengubah kondisi operasi normal *engine coolant*. Pada *heat exchanger* tidak terjadi perubahan temperatur namun terjadi perubahan fasa dan memungkinkan terjadinya kenaikan temperatur tergantung dari kondisi operasi *engine coolant*.

d. Filter CNG

Filter CNG untuk kendaraan sudah banyak tersedia di pasaran, untuk dapat memilih *filter* yang sesuai dengan sistem HPDI 2.0 melihat kondisi berikut:

Tekanan = 4 MPa

Temperatur Min = -87,222°C

e. Storage CNG

Storage CNG pada sistem ini berfungsi sebagai penyimpanan sementara CNG yang sudah terkonversi dari LNG tapi belum sempat terpakai untuk proses pembakaran. *Storage* CNG tidak memerlukan kapasitas yang

besar karena didesain hanya untuk menampung CNG selama 1 jam pemakaian karena *storage* CNG hanya digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara dan tidak memerlukan kapasitas yang besar, sehingga kapasitas *storage* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_{\text{Tangki}} &= V_{\text{CNG}} \times t \times \rho \\ &= 37 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam} \times 6 \text{ lb/ft}^3 \times 16,0185 \text{ kg ft}^3/\text{lb m}^3 = 3,556 \text{ L}\end{aligned}$$

f. Pressure Regulator

Pada spesifikasi mesin Hino FM 260 JD dinyatakan bahwa rasio kompresi mesin sebesar 18:1 dengan tekanan kompresi sebesar 3,4 – 3,6 MPa. CNG akan diinjeksikan ke dalam silinder pada 5° putaran engkol. Dapat dihitung tekanan ruang bakar pada saat CNG diinjeksikan yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_{\text{CNG1}} &= 3,4 \text{ MPa} - \left\{ \frac{5^\circ}{180^\circ} \times \left(3,4 \text{ MPa} - \frac{3,4 \text{ MPa}}{18} \right) \right\} \\ &= 3,31 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{CNG2}} &= 3,6 \text{ MPa} - \left\{ \frac{5^\circ}{180^\circ} \times \left(3,6 \text{ MPa} - \frac{3,6 \text{ MPa}}{18} \right) \right\} \\ &= 3,506 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Sehingga CNG yang awalnya bertekanan 4 MPa menjadi 3,31 MPa – 3,506 MPa. CNG bertemperatur minimum -87,222°C dengan *flowrate* sebesar 37 kg/jam atau 10,278 g/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kendaraan logistik yang menggunakan sistem bahan bakar hibrida LNG dan diesel dengan teknologi *dual fuel* dilihat dari aspek lingkungan dapat mengurangi emisi sampai dengan 90%, selain itu dengan sistem HPDI 2.0 dapat menghemat biaya bahan bakar sebesar Rp 88.924.452/tahun sehingga investasi ini dinyatakan layak secara ekonomi dengan *payback period* selama 5 tahun.
2. Pada kendaraan logistik di PT X lebih optimal apabila menggunakan sistem HPDI 2.0, sistem bahan bakar HPDI 2.0 memerlukan komponen tangki LNG, pompa LNG, *heat exchanger*, filter, *storage* CNG, dan regulator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. C. Lyons and J. Zaba, *Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering*, no. v. 1. Gulf Publishing Company, 1996.
- [2] K. Kay, "What Fleets Need to Know About Alternative Fuel Vehicle Conversions , Retrofits , and Repowers."
- [3] American Power Group, "Introduction to Dual Fuel Diesel Conversions Growing High-Horsepower Dual Fuel Natural Gas Markets," 2016.
- [4] W. N. Mansor, "Dual Fuel Engine Combustion and Emissions – an Experimental Investigation coupled with computer simulation," p. 162, 2014.
- [5] T. Power and N. G. Fueling, "Natural Gas Fuel for Diesel Displacement / Dual Fuel & Bi-Fuel," no. May, 2014.
- [6] M. Dunn, "Optimised Natural Gas Engines For Phase II GHG Compliance," *Westport Fuel Syst. Brand. Mark. Breadth*.