

PERANCANGAN AWAL CONVERTER KIT LPG SEDERHANA UNTUK KONVERSI MESIN BENSIN SKALA KECIL

*Nazaruddin Sinaga

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang 50275

*E-mail: nsinaga.ccfed@yahoo.com

Abstrak

Pemerintah saat ini telah mengambil kebijakan untuk mengganti penggunaan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas. Untuk melakukan konversi ini diperlukan converter kit yang harganya relatif mahal, karena harus diimpor dari luar negeri. Pada tulisan ini disajikan hasil perancangan awal pressure regulator sederhana yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dan mengatur aliran gas dari tangki gas LPG menuju saluran hisap mesin bensin 4 tak, dengan daya maksimum 10 Hp. Dalam perancangan ini tekanan masuk pressure regulator maximum 10 bar, dan tekanan keluar maksimum 1,1 bar. Komponen yang dirancang adalah rumah/casing pressure regulator, diafragma dan pegas, dengan kriteria sederhana, murah, materialnya mudah ditemui di pasaran dan mudah untuk diperbaiki. Dalam perancangan ini didapatkan hasil rancangan berupa geometri rumah/casing yang terbuat dari bahan aluminium, diafragma dari bahan karet khusus dan pegas dari bahan music wire dengan ukuran yang sesuai dengan kriteria perancangan. Melalui penelitian ini diperkirakan harga untuk sebuah unit pressure regulator adalah sekitar 750 ribu rupiah.

Kata kunci: converter kit, pressure regulator, LPG, perancangan

1. PENDAHULUAN

Dalam Undang Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi dinyatakan bahwa pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaannya harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, rasional, optimal, dan terpadu, guna memberikan nilai tambah bagi perekonomian bangsa dan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaan energi yang dilakukan secara terus menerus guna meningkatkan kesejahteraan rakyat, dalam pelaksanaannya harus selaras, serasi, dan seimbang dengan fungsi lingkungan hidup [1].

Selanjutnya dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) diantaranya dinyatakan bahwa peran minyak bumi pada tahun 2025 kurang dari 25% dan pada tahun 2050 menjadi kurang dari 20%, dimana pada tahun 2025 peran gas bumi minimal 22% dan pada tahun 2050 minimal 24% [2]. Tingkat konsumsi bahan bakar minyak (bbm) di Indonesia hingga tahun 2015 masih menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan pendapatan per kapita, dengan nilai 1.229 ribu bopd (*barrels of oil per day*). Namun hal ini tidak didukung oleh produksi bbm dalam negeri yang sejak tahun 2010 hingga 2015 relatif tidak berubah, yaitu sebesar 681 ribu bopd. Dengan demikian, kekurangan sebesar 548 bopd, atau sekitar 45%, harus diimpor dari luar negeri [3].

Dampak penggunaan bahan bakar minyak ini mengakibatkan terjadinya peningkatan pemanasan global dan perubahan iklim, dengan segala dampak ikutannya yang mengancam kehidupan dan kelestarian bumi. Dalam rangka menindaklanjuti kesepakatan *Bali Action Plan* pada *Conferences of Parties (COP) ke-13 United Nations*

Framework Convention on Climate Change (UNFCC) dan hasil COP-15 di Kopenhagen dan COP-16 di Cancun, serta memenuhi komitmen pemerintah Indonesia dalam pertemuan G-20 di Pittsburg tahun 2010, maka Pemerintah Indonesia telah menyampaikan *Intended Nationally Determine Contribution (INDC)* kepada UNFCC, dimana Indonesia berjanji untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 26% dibandingkan *Business as Usual*, dan dengan tambahan menjadi 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2020. Untuk menindaklanjuti janji tersebut telah dikeluarkan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca [4].

Pada pertemuan UNFCC ke-21 di bulan Desember 2015, telah disepakati Paris Agreement yang menyatakan bahwa kenaikan suhu bumi harus dikendalikan menjadi kurang dari 2 °C dibandingkan dengan temperatur rata-rata sebelum era industrialisasi (tahun 1880), dimana kesepakatan ini berlaku untuk semua negara dan mengikat secara hukum dengan prinsip *Common But Differentiated Responsibilities (CBDR)*. Untuk diketahui, pada pertengahan tahun 2016, kenaikan temperatur bumi sudah mencapai sekitar 1,3 °C dibandingkan pada tahun 1880. Jika penurunan temperatur ditargetkan sebesar 1,5 °C maka emisi GRK yang harus direduksi adalah sekitar 40 Gigaton pada tahun 2030 [5]. Usaha ini tentu tidak berhasil jika tidak didukung oleh seluruh masyarakat.

Uraian di atas menunjukkan bahwa saat ini bangsa Indonesia mau tidak mau harus mengelola energi dan lingkungannya dengan seksama, tepat sasaran dan berkelanjutan. Oleh karena itu semua pihak, mulai dari pemerintah hingga setiap warga negara, harus berperan serta dalam mewujudkannya. Pada dasarnya, usaha

tersebut dapat dibagi menjadi 2 yaitu usaha konservasi energi dan peningkatan efisiensi energi. Salah satu cara yang dapat ditempuh dalam skala yang lebih kecil adalah dengan mengkonversi penggunaan mesin berbahan bakar bensin menjadi berbahan bakar gas [6]. Penerapan sistem konversi ini tentunya akan tepat jika mempertimbangkan tingkat konsumsi bahan bakar, efisiensi konversi energi, nilai ekonomi, kemudahan mendapatkan bahan bakar, serta emisi yang dihasilkan.

Penggunaan mesin berbahan bakar bensin pada pedagang kecil, umumnya sebagai generator listrik, dan mesin pada perahu nelayan, hingga kini masih cukup banyak dijumpai di Indonesia. Pemerintah saat ini telah memiliki program untuk mengganti penggunaan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas pada mesin kendaraan maupun perahu nelayan. Namun demikian, untuk melakukan konversi ini diperlukan seperangkat alat konversi yang disebut dengan *converter kit*, yang harganya relatif mahal, karena diimpor dari luar negeri. Untuk mengatasi hal ini maka perlu diupayakan pengadaan converter kit produksi dalam negeri, terutama yang rancangannya sederhana dan murah, namun memenuhi persyaratan keselamatan.

Sebenarnya *converter kit* merupakan istilah yang digunakan untuk seperangkat alat yang digunakan untuk mengkonversi mesin berbahan bakar minyak menjadi berbahan bakar gas, tanpa harus mengganti mesin [7]. Pada dasarnya *converter kit* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu untuk pemakaian bahan bakar secara bergantian (*bifuel*, pada mesin bensin), dan pemakaian bahan bakar secara bersamaan (*dual fuel*, pada mesin disel). Masing-masing jenis ini dibagi lagi menjadi sistem konvensional dan sistem injeksi. Pada umumnya *converter kit* sistem konvensional terdiri dari sistem penyaluran bahan bakar, katup-katup solenoid, pengukur tekanan, pengatur tekanan dan penguap gas (*pressure regulator/vaporizer*), *mixer*, rangkaian elektronik, dan tangki gas [8].

Pemakaian *converter kit* pada mesin bensin lebih populer dibandingkan dengan mesin disel, karena nilai ekonomi yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan *converter kit* mesin disel. Pada penelitian ini yang akan dirancang adalah komponen *pressure regulator* dari *converter kit* mesin bensin konvensional yang akan dikonversi menggunakan gas LPG. Pemilihan komponen ini dikarenakan, untuk komponen-komponen lainnya dapat dibeli dengan mudah di pasaran. Alasan lainnya adalah karena *pressure regulator* yang dijumpai di pasaran banyak yang tidak dapat bekerja dengan stabil, mengalami kebocoran gas, sulit dioperasikan, dan harganya relatif mahal [9].

2. METODA PERANCANGAN

Dalam penelitian ini, tujuan perancangan yang ditetapkan adalah untuk mendapatkan rancangan (*design*) awal *pressure regulator* yang sederhana namun memenuhi persyaratan keselamatan, harganya murah, mudah dibuat, dan mudah diperbaiki. Adapun batasan perancangan adalah tekanan tangki gas 1,1 - 10 bar, kapasitas mesin 10 hp, dan untuk digunakan pada mesin bensin 4 tak dengan

sistem karburator. Untuk melakukan perancangan ini dilakukan proses perancangan seperti terlihat pada diagram alir Gambar 1. Survey pasar dilakukan terhadap beberapa jenis *pressure regulator* yang telah dianalisis oleh peneliti sebelumnya [9, 10] dan beberapa produk yang telah dipatenkan [11, 12], serta dari katalog dan manual operasi produk [8, 13, 14]. Adapun studi literatur dilakukan untuk memahami berbagai masalah yang terkait dengan metoda perancangan [15] secara umum dan berbagai pertimbangan kritis yang perlu diperhatikan pada perancangan alat ini.

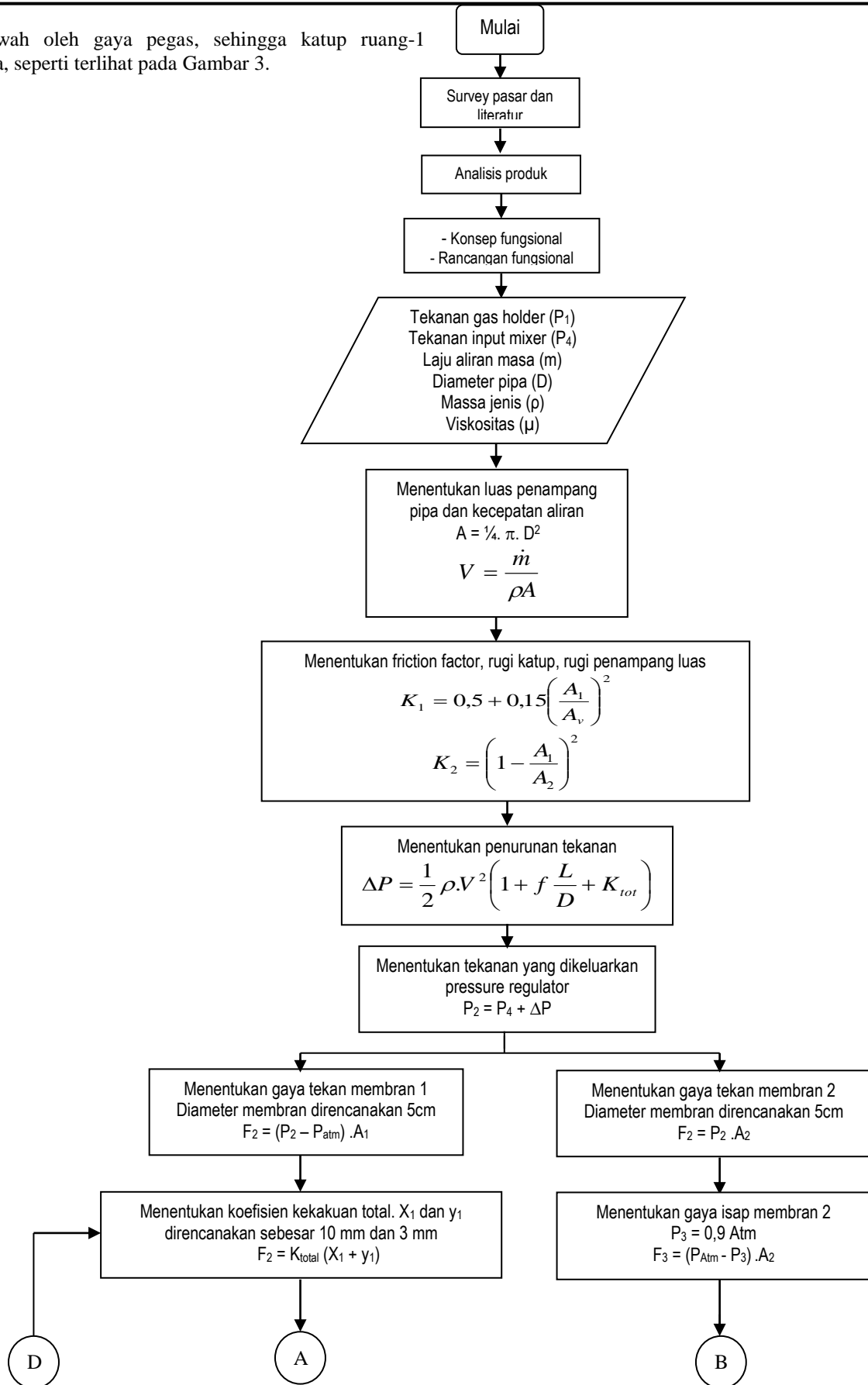
Berdasarkan hasil studi literatur dan survey lapangan diperoleh beberapa kesimpulan penting yang diantaranya adalah bahwa kehandalan suatu converter kit sangat tergantung dari rancangan *pressure regulator*. Fungsi utama dari *pressure regulator* adalah untuk menurunkan tekanan dari tekanan tangki menjadi tekanan operasional. Selain itu juga berfungsi untuk mengatur debit aliran gas yang masuk ke ruang bakar mesin. Pada umumnya *pressure regulator* mempunyai 2 tingkat penurunan tekanan. Tingkat pertama berfungsi untuk menurunkan tekanan gas dari tangki sampai dengan nilai tekanan tertentu biasanya 1,5 bar. Sedangkan tingkat kedua berfungsi untuk mengatur debit gas yang akan dialirkan ke dalam ruang bakar melalui saluran udara (*intake manifold*).

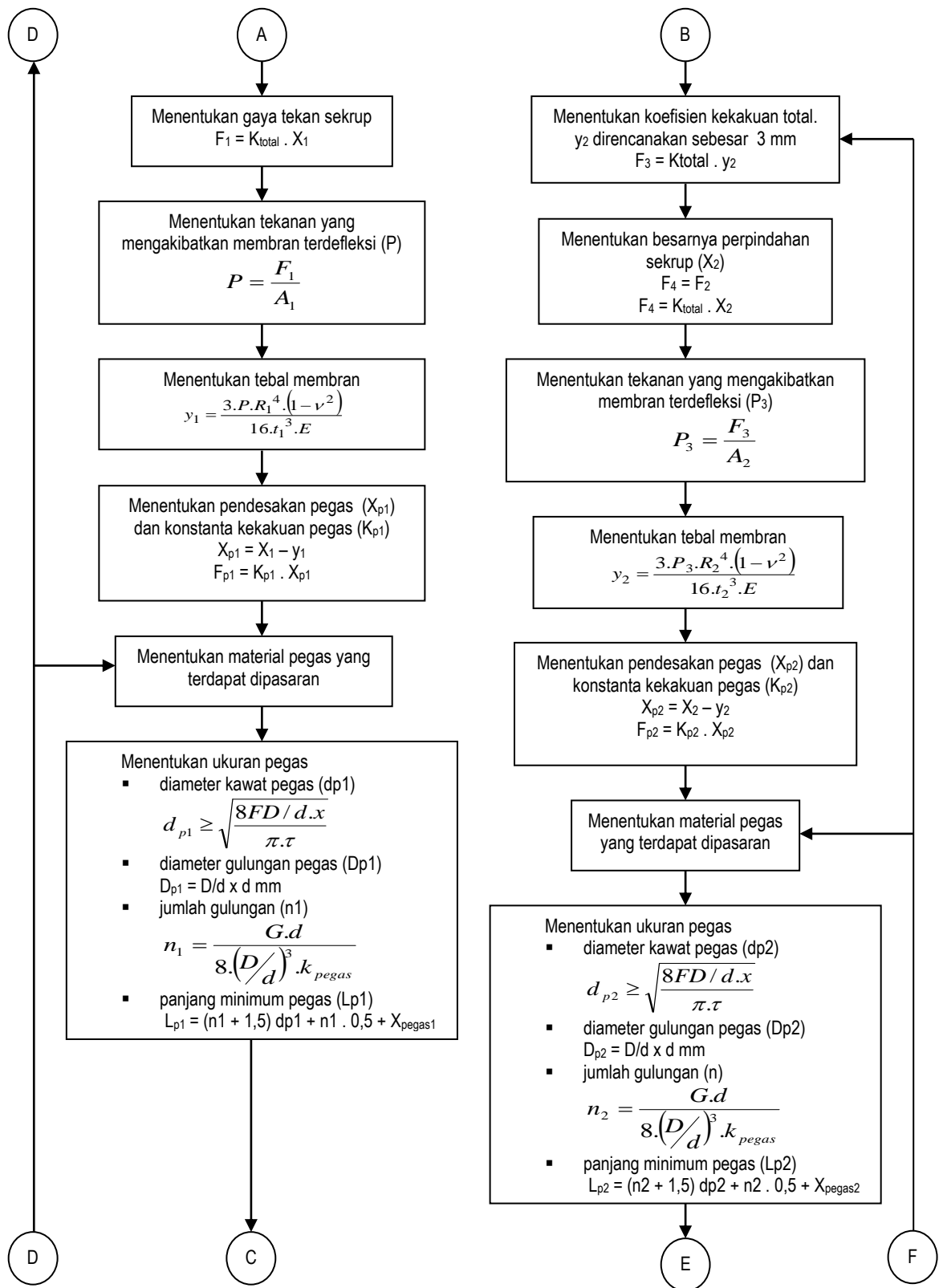
Pada sebagian besar *pressure regulator* yang dijumpai di pasaran, komponen utamanya terdiri dari diafragma/membran dan pegas. Pemilihan diafragma didasarkan pada sifatnya yang mampu mengikuti defleksi meskipun gaya yang bekerja relatif kecil. Kelebihan lain dari komponen ini adalah memiliki ketahanan lelah yang cukup tinggi meskipun dioperasikan pada frekuensi pembebanan yang cukup tinggi. Jika dilihat secara fungsional, pemilihan diafragma ini juga karena gaya yang bekerja padanya dihasilkan dari tekanan fluida yang bekerja pada kedua sisinya. Selain itu, diafragma juga berfungsi sebagai dinding pemisah antara fluida di satu ruangan dengan fluida di ruangan lainnya.

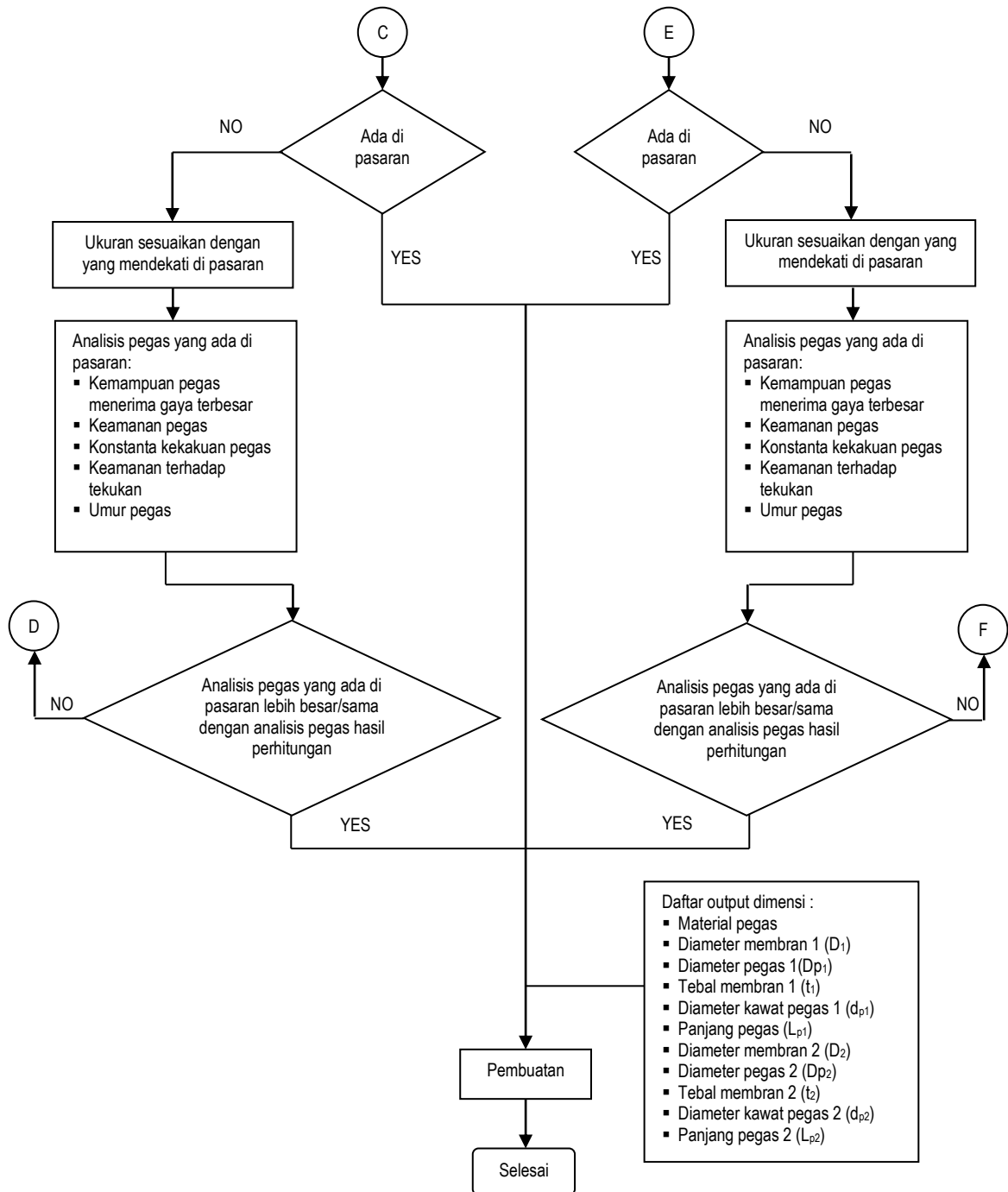
Berdasarkan pertimbangan di atas maka dihasilkan konsep fungsional rancangan awal *pressure regulator*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, yang memperlihatkan operasinya pada saat mesin belum beroperasi dan pada saat mesin beroperasi. Seperti terlihat pada Gambar 2 (a), katup pada ruang-1 dalam keadaan terbuka sehingga gas mengalir masuk ke ruang-1 kemudian mengalir ke ruang-2. Pada ruang-2 ini katup dalam keadaan tertutup sehingga gas tidak dapat mengalir keluar. Dengan adanya aliran yang kontinu dari gas maka tekanan pada ruang-1 akan naik sehingga mendorong membran di ruang-1 ke atas. Hal ini menyebabkan katup ruang-1 tertutup seperti terlihat pada Gambar 2 (b).

Pada ruang-2 terdapat lubang isap yang dihubungkan dengan saluran udara masuk ke mesin, sehingga pada saat piston melakukan langkah isap maka membran pada ruang-2 tertarik ke atas yang mengakibatkan katup ruang-2 terbuka. Dengan terbukanya katup ruang-2 maka gas mengalir keluar, sehingga tekanan gas pada ruang-1 akan turun. Penurunan tekanan ini mengakibatkan membran ruang-1 terdorong

ke bawah oleh gaya pegas, sehingga katup ruang-1 terbuka, seperti terlihat pada Gambar 3.





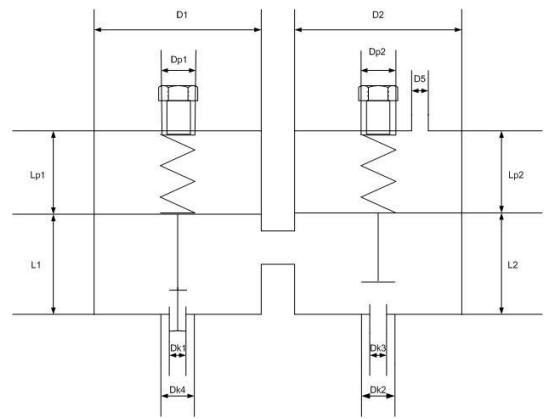


Gambar 6. Diagram alir perancangan

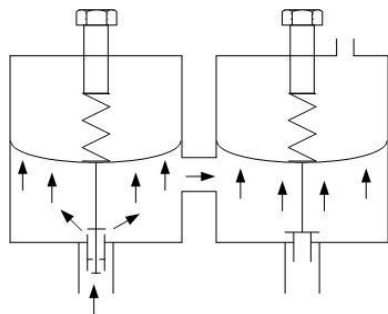
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data-data yang digunakan didapatkan dimensi alat sebagai berikut:

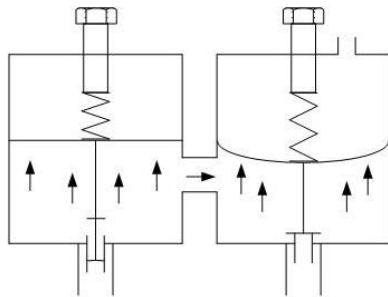
- Diameter silinder : 50 mm
- Tinggi silinder : 55,25 mm
- Panjang pegas ruang 1 (L_1) : 27 mm
- Panjang pegas ruang 2 (L_2) : 20 mm
- Diameter pegas ruang 1 (D_{P1}) : 11,6 mm
- Diameter pegas ruang 2 (D_{P2}) : 6,25 mm
- Diameter membran 1 & 2 : 50 mm
- Tebal membran 1 (t_1) : 1,6 mm
- Tebal membran 2 (t_2) : 3 mm
- Diameter pipa input (D_{k1}) : 15 mm
- Diameter pipa output (D_{k4}) : 15 mm
- Diameter katup dop (D_{k2}) : 5 mm
- Diameter disk valve (D_{k3}) : 5 mm



Gambar 4. Dimensi Pressure regulator

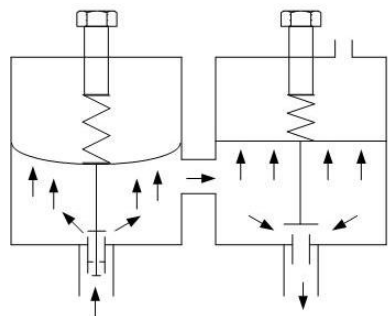


(a)

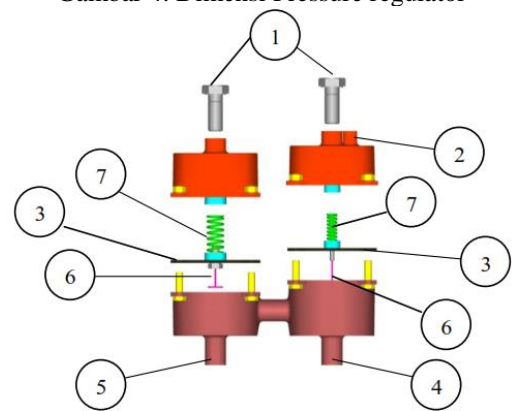


(b)

Gambar 2. Prinsip kerja pada saat mesin belum beroperasi



Gambar 3. Prinsip kerja pada saat mesin beroperasi



Gambar 5. Bagian-bagian *pressure regulator*

1. Sekrup penyetel pegas; 2. Lubang isap; 3. Membran;
4. Lubang output; 5. Lubang input; 6. Katup; 7. Pegas

3.1. Penurunan Tekanan

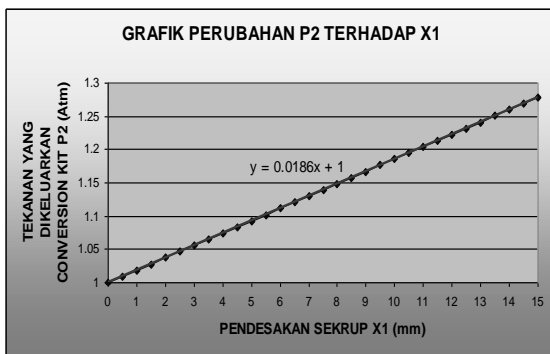
Aliran gas seperti terlihat dalam Gambar 3 disuplai dari tanki LPG. Biogas dalam tanki diasumsikan dalam kondisi stagnasi yaitu keadaan pada saat tidak ada kecepatan ($V_0 \approx 0$). Tekanan P_2 diatur dengan menggunakan baut pada ruang-1. Pada saat baut diputar, baut akan menekan pegas sehingga membran akan melengkung ke bawah. Membran akan kembali ke tempat semula karena ada gaya tekan membran ke atas yang disebabkan oleh tekanan P_2 . Jadi besar tekanan P_2 tergantung pada gaya F_1 , sedangkan F_1 tergantung pada nilai X_1 . Pada Gambar 6 di bawah diperlihatkan hasil perhitungan nilai tekanan keluar P_2 sebagai fungsi dari defleksi pegas X_1 .

3.2. Debit Maximum

Debit maximal yang dikeluarkan pressure regulator terjadi pada saat perbedaan tekanan antara tekanan yang dikeluarkan Pressure regulator dan tekanan udara sekitar mencapai tertinggi. Ini terjadi pada saat tekanan yang dikeluarkan Pressure regulator sebesar 10 bar. Dengan

menerapkan persamaan Bernoulli dan diagram Moody maka dapat diketahui debit maximal yang dikeluarkan Pressure regulator yaitu 0,116 m³/s. Pada alat ini, katup dapat terbuka karena adanya isapan dari piston atau dengan kata lain pada saat piston melakukan langkah isap maka katup akan terbuka. Dengan kondisi seperti ini maka dapat dikatakan bahwa frekuensi buka katup sinkron dengan frekuensi isap piston.

Pada mesin 4 langkah setiap 2 putaran terjadi satu kali langkah isap, jadi jika mesin ini pada putaran maximal yaitu 2400 rpm terjadi 1200 isap tiap menit atau 20 isap tiap detik. Frekuensi buka katup sinkron dengan frekuensi isap piston sehingga besarnya frekuensi isap katup sebesar 20 bukaan tiap detik atau 20 Hz. Pada konstruksi ini katup dihubungkan dengan membran pada ruang kedua sehingga, membran juga akan terdefleksi sebanyak 20 kali tiap detik.



Gambar 6. Kurva tekanan P₂ terhadap defleksi X₁

3.3. Frekuensi Getaran Membran Karena Defleksi

Frekuensi getaran maksimum membran akibat defleksi dihitung dengan menggunakan persamaan [16]:

$$f_m = \frac{0,469 \cdot t}{R^2} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \text{ Hz}$$

$$f_m = 319,23 \text{ Hz}$$

Dari hasil diatas maka frekuensi getaran maksimum membran lebih besar dari frekuensi getar membran pada saat beroperasi, sehingga membran aman digunakan.

3.4. Perkiraan Umur Pegas

Umur dari suatu elemen mesin tergantung dari material elemen mesin dan tegangan yang dibebankan pada elemen mesin tersebut. Semakin kecil tegangan yang dibebankan, semakin panjang umur elemen mesin tersebut. Umur pada elemen mesin dibedakan menjadi dua yaitu umur terhingga dan tidak terhingga. Untuk umur pegas digunakan istilah siklus. Besarnya umur elemen mesin dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$N = 10^{-\frac{c}{b}} \cdot S_f^{\frac{1}{b}}$$

dimana:

N = jumlah siklus tegangan beban (siklus)

S_f = tegangan maksimal (τ_{max}) yang dibebankan (N/mm²)

b = perbandingan antara kekuatan tarik dan ketahanan bahan

c = perbandingan antara kuadrat kekuatan tarik dan ketahanan bahan.

Pada perancangan ini material pegas yang digunakan mempunyai kekuatan tarik (S_f) 2350 N/mm² [17].

✚ Pegas 1

Tegangan puntir maximal

$$\tau_{\max} = 489,8 \text{ N/mm}^2$$

Umur

$$N = 6,95 \cdot 10^7 \text{ siklus}$$

Nilai siklus tegangan pegas ini sinkron dengan siklus isap ruang bakar. Pada mesin 4 langkah setiap 2 putaran terjadi satu kali langkah isap, jadi mesin ini pada putaran 2400 rpm terjadi 1200 siklus isap tiap menit atau 72.000 siklus isap setiap jam. Jika mesin dioperasikan selama 24 jam non stop, maka akan terjadi 1.728.000 siklus isap, sehingga pegas juga akan mengalami 1.728.000 siklus tegangan. Dari hasil analisis diatas kemampuan pegas pada ruang-1 menerima siklus tegangan sebesar 2,74 · 10⁸ siklus. Hasil ini masih lebih besar dari siklus tegangan pada saat mesin beroperasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa pegas akan berumur panjang.

✚ Pegas 2

Tegangan puntir max

$$\tau_{\max} = 557,45 \text{ N/mm}^2$$

Umur

$$N = 2,4 \cdot 10^7 \text{ siklus}$$

Dari hasil analisis diatas kemampuan pegas pada ruang-2 menerima siklus tegangan sebesar 2,4 · 10⁷ siklus. Hasil ini masih lebih besar dari siklus tegangan pada saat mesin beroperasi (1.728.000 siklus) sehingga, dapat disimpulkan bahwa pegas akan berumur panjang.

3.5. Keamanan Pegas Terhadap Tekukan Karena Beban

Untuk menjaga keamanan pegas dari tekukan dapat dilihat pada kuva dalam Gambar 7. Syarat pegas aman dari bahaya tekukan adalah harga f_{max}/L_o tidak berimpit dengan harga λ = L_o/D.

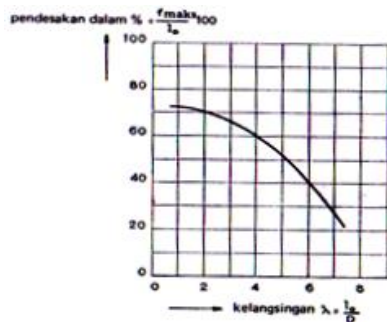
✚ Pegas 1

Nilai derajat kelangsingan adalah [18]:

$$\lambda = \frac{L_o}{D}$$

$$\lambda = 2,33 \text{ dan } f_{\max}/L_o = 49,3 \%$$

Dari Gambar 7 terlihat bahwa hasil ini berada jauh dari kondisi yang tidak kuat, sehingga pada pegas ruang-1 tidak perlu ditakutkan adanya bahaya tekuk.



Gambar 7. Keamanan tekuk untuk pegas tekan [18]

✚ Pegas 2

Besarnya derajat kelangsingan adalah [18]:

$$\lambda = \frac{L_0}{D}$$

$$\lambda = 3,2$$

$$\frac{f_{max}}{L_0} \cdot 100\% = \frac{3,6}{20} \cdot 100\% = 18\%$$

Dari Gambar 7 diatas terlihat bahwa hasil ini berada jauh, sehingga pada pegas ruang-2 juga tidak perlu ditakutkan adanya bahaya tekuk.

3.6. Tebal Casing (Rumah)

Material yang digunakan untuk membuat rumah pressure regulator adalah Alumunium dengan proses pengecoran. Alumunium cor mempunyai kekuatan $\sigma_{Al} = 70 \text{ N/mm}^2$ [17]. Untuk ini dipilih material Alumunium dengan tebal 5 mm, sehingga tegangan kerja adalah:

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad [13]$$

- P = tekanan maximal didalam *Pressure regulator* (N/mm^2)
- D = diameter *Pressure regulator* (mm)
- t = tebal tangki *pressure regulator* (mm)
- $P_{max} = 1,25 \text{ Atm} \approx 0,13 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma = 0,65 \text{ N/mm}^2$

Dari hasil diatas berarti tegangan ini dibawah tegangan yang diijinkan, sehingga silinder aman digunakan.

3.7. Analisis Kebocoran Sambungan Baut dan Paking

Kebocoran sambungan baut dan paking sangat dipengaruhi oleh kekakuan baut, kekakuan paking, gaya pemisah dan gaya awal baut. Syarat agar tidak terjadi kebocoran adalah gaya pengikat, yang diakibatkan oleh

baut, lebih besar dari gaya pemisah pada sambungan paking. Pada *pressure regulator* ini gaya pemisah diakibatkan oleh tekanan didalam *pressure regulator*. Dari perhitungan didapatkan hasil seperti berikut ini.

▪ Gaya p\Pengikat Baut

Gaya pengikatan baut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [15]:

$$F_m = F \left(\frac{K_m}{K_b + K_m} \right) - F_1$$

dimana :

F_m = Gaya pengikatan N

F = Gaya pemisah total N

F_1 = Beban awal baut N

K_b = Konstanta kekakuan baut

K_m = Konstanta kekakuan paking

$$F_m = -11,55 \text{ KN}$$

▪ Gaya Pemisah Sambungan (F_{ps})

Gaya pemisah pada sambungan (F_{ps}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [13]:

$$F_{ps} = A_g \cdot m \cdot P$$

dimana:

A_g = luas paking total (m^2)

m = factor paking (gasket factor)

P = tekanan yang cenderung memisahkan sambungan (N/m^2)

$$F_{ps} = 0,2187 \text{ KN}$$

Dari hasil diatas terlihat bahwa gaya pengikatan lebih besar dari gaya pemisah sambungan

$$F_m > F_{ps}$$

Dari hasil diatas berarti paking aman terhadap kebocoran.

4. KESIMPULAN

1. Material rumah *pressure regulator* yang digunakan adalah aluminium. Hal ini dikarenakan aluminium mempunyai sifat tidak korosi, ringan, tahan terhadap temperatur dan mempunyai kekuatan tinggi.
2. Material pipa yang digunakan adalah pipa karet dengan dililiti kawat di permukaan luarnya. Hal ini dikarenakan karet mempunyai sifat lentur, tidak korosif, ringan.
3. Material membran yang digunakan adalah karet viton.
4. Alat penurun tekanan ini dapat menurunkan tekanan dengan range 1,1 sampai 10 bar.
5. Debit maximal yang dapat dikeluarkan *pressure regulator* sebesar $0,116 \text{ m}^3/\text{s}$
6. Proses pembuatan rumah *pressure regulator* ini dengan proses pengecoran.

7. Biaya proses pembuatan pressure regulator ini menghabiskan biaya sekitar Rp 750.500,00.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Undang Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi.
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Nasional.
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca.
5. Paris Agreement, 2015, Report of The Conference of The Parties on Its Twenty-First Session, Held in Paris from 30 November to 13 December 2015, FCCC/CP/2015/10/Add.1, United Nations, European Commission Secretariate.
6. Saraf, R.R., 2009, *Comparative Emission Analysis of Gasoline/LPG Automotive Bifuel Engine*, Vol. 27, World Academy of Science, Engineering and Technology.
7. European Natural Gas Vehicle Association, 2001, *Dual Fuel (Natural Gas/Diesel) Engines: Operation, Applications & Contribution*.
8. Lovato General Catalogue, 2015, Lovato Gas S.p.A., Vicenza, Italy.
9. Farhan Novrian, 2015, *Kaji Eksperimental Beberapa Konverter Kit Serta Perancangan dan Pembuatan Converter Kit Sepeda Motor LPG*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Undip, Semarang.
10. Bass, E. A., 1993, *Evaluation of Aftermarket LPG Conversion Kits in Light-Duty Vehicle Applications*, Final Report, Southwest Research Institute, San Antonio, National Renewable Energy Laboratory.
11. Angajui, M., 2016, *Kit for Operation of Two Wheeler on Gaseous Fuel*, Patent No. WO 2016024174 A3, Worl Patent Office.
12. Golden, C. E., 1968, *LPG Vaporizer*, Patent No. 3,407,787, United States Patent and Trade Mark Office, 1968.
13. American Bureau of Shipping, 2013, *Design and Instalation of Dual Fuel Engines*, ABS Plaza, New York.
14. User and Maintenance Manuals, 2015, Lovato Gas S.p.A., Vicenza, Italy.
15. Budinas, R. G. & Nisbett, J. K., 2015, *Shigley's Mechanical engineering Design*, 10th edition, McGraw-Hill Education, New York.
16. Simrit Diaphragma, 2015, *Diaphragm Design Manual*, Freudenberg and NOK Group.
17. Niemann, G., 1999, *Elemen Mesin*, Jilid 1, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
18. Juvinall, R. C. & Marshek, K. M., 2012, *Fundamentals of Machine Component Design*, 5th edition, John Wiley & Sons Inc.