

Perancangan Diesel Engine Penggerak *Emergency Generator* Kapasitas 550 kW di PT. X

Sujono^{1*}, Zakarias Atokaman Barangka¹

¹Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, Blora, 58312

ABSTRAK

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang usaha transmisi dan distribusi gas dari sumbernya di pulau Sumatera sampai ke pelanggan di pulau Jawa. Untuk menjaga keberlangsungan proses bisnisnya, PT. X perlu memiliki sistem *emergency* yaitu sumber listrik yang digunakan untuk menanggulangi apabila sewaktu-waktu terjadi *trouble* pada unit pembangkit listrik utama supaya operasional tetap berjalan tanpa kendala. Jumlah daya yang dibutuhkan untuk kebutuhan operasional di PT. X saat suplai listrik dari pembangkit listrik utamanya mengalami kendala diperkirakan sebesar 550 kW. Angka ini diperoleh dari hasil penjumlahan kebutuhan listrik seluruh area PT. X. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan ukuran komponen utama diesel engine generator supaya sesuai dengan spesifikasi daya yang dibutuhkan yaitu sebesar 550 kW dengan putaran 1500 rpm. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif melalui perhitungan menggunakan rumus yang relevan untuk menentukan dimensi komponen utama *diesel engine*, seperti *piston*, *piston pin*, *piston ring*, *cylinder liner*, *connecting rod*, dan *crankshaft* dengan input data kebutuhan daya 550 kW dan putaran 1500 rpm. Dari penelitian perancangan ini diperoleh hasil spesifikasi *engine* yaitu daya 550 kW, 1500 rpm, jumlah silinder 6 buah, tekanan efektif rata-rata 19,37 kgf/cm², diameter piston masing-masing 161 mm material ASTM A217 Gr. WC6, diameter dalam piston pin 47,7 mm menggunakan material ASTM A48 Class 40, tebal piston ring 5 mm material ASTM A48 Class 40, diameter silinder liner 162 mm dengan material ASTM A519 Gr. G4.000, *connecting rod* dengan panjang 370 mm dengan material ASTM A216 Gr. WCA, *crank shaft* dengan diameter main jurnal 129 mm dengan material ASTM A216 Gr. WCA.

Kata kunci: *diesel engine*, perancangan, *emergency generator*, ASTM

 jono1166@gmail.com

1. Pendahuluan

Semakin ketatnya persaingan bisnis, maka proses bisnis harus dapat berjalan secara terus-menerus supaya tidak merugikan pengguna. Dalam rangka menjaga kelancaran proses bisnis tersebut, PT. X yang bergerak dibidang transmisi dan distribusi gas dari sumber gas di Sumatera ke pelanggan di Jawa perlu

memiliki sistem *emergency* yang digunakan untuk penanggulangan permasalahan jika terjadi gangguan pada pembangkit utamanya. Di PT. X memiliki tiga unit pembangkit listrik yaitu dua unit *gas engine generator* dan satu unit *diesel engine* sebagai penggerak *generator emergency* dengan daya sebesar 450 kW sesuai dengan kebutuhan di PT. X saat ini.

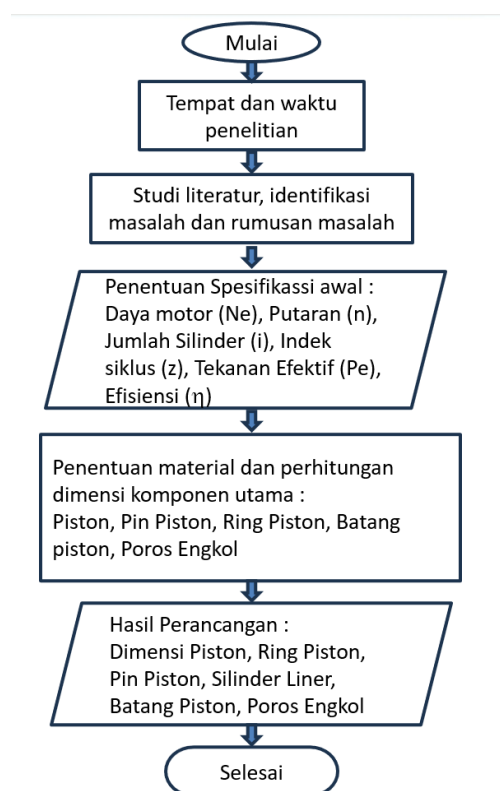
Dari data tersebut, jika terjadi *trouble* pada *gas engine generator*, maka *diesel engine generator* akan beroperasi untuk menggantikan *supply* listrik dari *gas engine generator* selama mengalami *trouble*. Untuk pemenuhan kebutuhan daya tersebut maka kapasitas daya diesel masih kurang sehingga perlu disesuaikan dengan kebutuhan sekarang yaitu sekitar 550 kW sebagai pembangkit listrik *emergency*. Hal ini perlu dilakukan agar PT. X tetap dapat beroperasi dan menghindari kerugian akibat hilangnya *supply* daya listrik dari *gas engine generator* [4].

Diesel engine generator merupakan solusi sesuai untuk *emergency* dalam memback-up sementara daya listrik yang sedang mengalami *trouble*, hal ini karena *diesel engine generator* memiliki kelebihan yaitu proses pembangkitan awal listrik lebih cepat, konstruksinya kompak sehingga tidak banyak membutuhkan tempat, dan perawatannya mudah [1,6]. Kategori *diesel engine* terdapat dua jenis yaitu *diesel engine 2 langkah* dan *4 langkah* [7]. Pada *diesel engine* terdapat sistem pendukung lainnya agar dapat beroperasi dengan baik. Kinerja *diesel engine* yang baik membutuhkan sistem pendukung yang baik agar dapat bekerja secara optimal dan efisien [2]. Penelitian perancangan *diesel engine* ini dilakukan untuk mengetahui ukuran komponen utama *diesel engine* untuk mendapatkan daya keluaran sebesar 550 kW dengan putaran 1500 rpm sesuai kebutuhan di PT X tersebut sehingga akan diperoleh spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhannya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT X pada bulan Februari 2024, permasalahannya adalah bila ada *trouble* pada pembangkit listrik utama maka *emergency* kekurangan daya sehingga perlu dinaikkan kapasitas daya pembangkit *emergency*-nya. Dari kapasitas lama ditambahkan kebutuhan lain yang belum tercukupi diperkirakan kebutuhan total sekitar 550 kW, sehingga rumusan masalahnya adalah seperti apa spesifikasi *diesel engine* yang sesuai dengan kebutuhan yang baru. Adapun data-data selengkapnya dalam perhitungan untuk menentukan spesifikasi *diesel engine* yang baru

dapat dilihat pada Tabel 1. Spesifikasi yang baru direncanakan meliputi daya generator, putaran mesin, jumlah silinder, indeks siklus, tekanan efektif, dan efisiensi mekanik, perhitungan dimensi *diesel engine* yaitu piston, *cylinder liner*, *connecting rod*, dan *crankshaft*, menentukan jenis material. Adapun alur perancangannya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Flowchart Perancangan Diesel Engine

Tabel 1. Data Spesifikasi Input Perancangan

Deskripsi	Spesifikasi
Daya generator (N_e)	550 kW (738 hp)
Jumlah silinder (i)	6 buah
Putaran Mesin (n)	1.500 rpm
Tekanan Efektif (P_e)	19,37 kgf/cm ²
Konstruksi <i>cylinder</i>	In-line Type
Indeks Siklus (Z)	2 cycle
Kecepatan piston (C_m)	9,15 m/s

Berdasarkan data yang diperoleh sebagai input perancangan Tabel 1, maka dilakukan proses perhitungan untuk menentukan spesi-

fikasi ukuran komponen utama sebagai berikut.

2.1 Perhitungan Piston

Perhitungan dimensi piston harus dilakukan lebih awal karena hasilnya akan digunakan untuk menghitung komponen utama yang lain. Material piston menggunakan ASTM A217 Gr.WC6 dengan kekuatan tarik 485 sd 655 MPa [8].

1) Diameter Piston (D)

Ukuran diameter piston dapat dihitung dengan persamaan berikut [3].

$$D = \sqrt{\frac{N_e \times Z}{0,00523 \times P_e \times C_m \times i}} \quad (1)$$

$$D = \sqrt{\frac{738 \times 2}{0,00523 \times 19,37 \times 9,15 \times 6}}$$

$$D = 16,1 \text{ cm} = 161 \text{ mm}$$

2) Langkah Piston (L)

Menentukan ukuran panjang langkah [3].

$$L = \frac{C_m \times 30}{n} \quad (2)$$

$$L = \frac{9,15 \times 30}{1.500} = 0,183 \text{ m} = 183 \text{ mm}$$

3) Tinggi Piston (H)

Untuk menghitung tinggi menggunakan persamaan berikut [3].

$$H = (1,16 \text{ sampai } 1,54) \times D \quad (3)$$

diambil $H = 1,16 \times D$, sehingga :

$$H = 1,16 \times 161 \text{ mm} = 187 \text{ mm}$$

4) Tinggi dari puncak piston sampai ring atas (h)

Untuk menghitung h dapat menggunakan rumus berikut [3].

$$h = (0,14 \text{ sampai } 0,20) \times D \quad (4)$$

diambil $h = 0,20 \times D$, sehingga :

$$h = 0,20 \times 161 \text{ mm} = 32 \text{ mm}$$

5) Tebal piston crown (h_{cr})

Untuk menghitung h_{cr} dapat menggunakan rumus berikut [3].

$$h_{cr} = (0,15 \text{ sampai } 0,20) \times D \quad (5)$$

diambil $h_{cr} = 0,17 \times D$, sehingga :

$$h_{cr} = 0,17 \times 161 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

6) Jarak antara kedua lubang ring piston (h_1)

Menghitung h_1 dapat menggunakan rumus berikut [3].

$$h_1 = (0,04 \text{ sampai } 0,065) \times D \quad (6)$$

diambil $h_1 = 0,065 \times D$, sehingga :

$$h_1 = 0,065 \times 161 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$$

7) Panjang dari sumbu piston pin sampai dasar piston (H_1)

Untuk menghitung H_1 menggunakan rumus berikut [3].

$$H_1 = (0,33 \text{ sampai } 0,5) \times H \quad (7)$$

diambil $H_1 = 0,33 \times H$, sehingga :

$$H_1 = 0,33 \times 187 \text{ mm} = 61,7 \text{ mm}$$

8) Tinggi piston skirt (H_2)

Untuk menghitung H_2 menggunakan rumus berikut [3].

$$H_2 = (0,62 \text{ sampai } 0,7) \times H \quad (8)$$

diambil $H_2 = 0,66 \times H$, sehingga :

$$H_2 = 0,66 \times 187 \text{ mm} = 123 \text{ mm}$$

2.2 Perhitungan Pin Piston

Material pin piston yang digunakan adalah ASTM A48 Class 40 dengan kekuatan Tarik 40 ksi[9].

1) Diameter luar pin (d_{ex})

Untuk menghitung d_{ex} menggunakan rumus berikut [3].

$$d_{ex} = (0,34 \text{ sampai } 0,38) \times D \quad (9)$$

diambil $d_{ex} = 0,38 \times D$, sehingga :

$$d_{ex} = 0,38 \times 161 \text{ mm} = 61,1 \text{ mm}$$

2) Jarak tengah-tengah antara pin (b_b)

Untuk menghitung b_b menggunakan rumus berikut [3].

$$b_b = 0,40 \times D \quad (10)$$

$$b_b = 0,40 \times 161 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$$

3) Beban normal maksimum pada dinding peluncur (N_{max})

Berikut ini merupakan perhitungan N_{max} [3].

$$N_{max} = 0,1 \times P \quad (11)$$

$$P = \frac{1}{4} \times \pi \times (D)^2 \times P_z \quad (12)$$

$$P = \frac{3,14}{4} \times (16,1)^2 \times 72,3$$

$$= 14.711,7 \text{ kgf}$$

$$\text{Jadi } N_{max} = 0,1 \times P = 0,1 \times 14.711,7$$

$$= 1.471,1 \text{ kgf}$$

4) Tekanan samping spesifik maksimum (q)

Tekanan khusus sisi samping maksimum (q) dihitung menggunakan rumus berikut [3].

$$q = \frac{N_{max}}{D \times H_2} \quad (13)$$

$$q = \frac{1.471,1}{16,1 \times 12,3} = 7,4 \text{ kgf/cm}^2$$

5) Diameter dalam pin (d_1)

Berikut ini merupakan perhitungan diameter pin [3].

$$d_i = r_d \times d_{ex} \quad (14)$$

$$r_d = 0,52 \text{ sampai } 0,78$$

diambil $r_d = 0,78 \times d_{ex}$, sehingga :

$$d_i = 0,78 \times 61,1 \text{ mm} = 47,7 \text{ mm}$$

Material piston pin menggunakan ASTM A48 class 40[9].

6) Jarak sisi boss (L_{pp})

Untuk menghitung L_{pp} dapat menggunakan formula berikut [3].

$$L_{pp} = 0,85 \times D \quad (15)$$

$$L_{pp} = 0,85 \times 161 \text{ mm} = 137 \text{ mm}$$

7) Jarak center kedua boss (L_1)

Menghitung jarak kedua boss menggunakan rumus berikut [3].

$$L_1 = \frac{L_{pp} + b_b}{2} \quad (16)$$

$$L_1 = \frac{137 + 64,4}{2} = 107 \text{ mm}$$

8) Jarak antara sisi boss dengan bagian tengah pin (a')

Jarak boss dan pin dapat dihitung menggunakan rumus berikut [3].

$$a' = \frac{L_{pp} - b_b}{2} \quad (17)$$

$$a' = \frac{137 - 64,4}{2} = 36,3 \text{ mm}$$

9) Perhitungan momen bending (M_{max})

Momen lentur maksimum yang terjadi dapat dihitung menggunakan rumus berikut [3].

$$M_{max} = \frac{P}{2} \left(\frac{L_1}{2} - \frac{l}{4} \right) \quad (18)$$

$$M_{max} = \frac{16}{2} \left(\frac{10,7}{2} - \frac{6,44}{4} \right) = 29,9 \text{ kgf.cm}$$

10) Perhitungan tegangan bending (σ_b)

Tegangan akibat bending (σ_b) dapat dihitung menggunakan rumus berikut [3].

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{W} \quad (19)$$

$$W = \frac{\pi}{32} \left(\frac{d_{ex}^4 - d_i^4}{d_{ex}} \right) \quad (20)$$

$$W = \frac{3,14}{32} \left(\frac{6,11^4 - 4,77^4}{6,11} \right) = 14,1 \text{ cm}^3$$

Maka :

$$\sigma_b = \frac{29,9}{14,1} = 2,1 \text{ kgf/cm}^2$$

11) Perhitungan tegangan geser (τ_{sh})

Tegangan geser τ_{sh} yang timbul dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini [3].

$$\tau_{sh} = \frac{P}{2f} \quad (21)$$

$$f = \frac{\pi}{4} (d_{ex}^2 - d_i^2) \quad (22)$$

$$f = \frac{3,14}{4} (6,11^2 - 4,77^2) = 11,5 \text{ cm}^2$$

Maka :

$$\tau_{sh} = \frac{16}{2 \times 11,5} = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$$

2.3 Perhitungan Ring Piston

Material ring piston menggunakan ASTM A48 Class 40 dengan kekuatan Tarik 40 ksi[9].

1) Lebar ring piston (t)

Untuk menghitung lebar ring piston menggunakan persamaan berikut ini [3].

$$t = \frac{D}{25} \quad (23)$$

$$\frac{D}{t} = (20 \text{ sampai } 25), \text{ diambil } \frac{D}{t} = 25$$

$$t = \frac{161 \text{ mm}}{25} = 6,4 \text{ mm}$$

2) Tebal ring piston (b)

Tebal ring piston $b = (2,5 \text{ sampai } 5)$

diambil $b = 0,5 \text{ cm} = 5 \text{ mm}$

3) Jarak ujung ring piston (l)

Untuk menghitung jarak ujung ring piston menggunakan persamaan berikut ini [3].

$$l = 0,35 \times t \quad (24)$$

$$l = 0,35 \times 0,64$$

$$= 0,22 \text{ cm} = 22 \text{ mm}$$

4) Jarak serutan ring piston (x_b)

Untuk menghitung jarak serutan ring piston menggunakan persamaan berikut ini [3].

$$\begin{aligned}x_b &= 0,4 \times b \\x_b &= 0,4 \times 0,5 \\&= 0,2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}\end{aligned}\quad (25)$$

5) Tekanan rata-rata *piston ring* pada dinding silinder (P_m)

Besarnya P_m dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut [3].

$$\begin{aligned}P_m &= 0,152 \times E \times \frac{\frac{S_o}{t}}{\frac{D}{t} \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^{3,5}} \\P_m &= 0,152 \times 800.000 \times \frac{3,5}{25(25 - 1)^3} \\P_m &= 1,23 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}\quad (26)$$

6) Tegangan maksimum yang terjadi pada *piston ring* (σ_i)

Rumus berikut digunakan untuk menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada *piston ring* [3].

$$\begin{aligned}\sigma_i &= 0,39 \times E \times \frac{\frac{S_o}{t}}{\frac{D}{t} \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^{3,5}} \\ \sigma_i &= 0,39 \times 800.000 \times \frac{3,5}{25(25 - 1)^3} \\ &= 1.820 \text{ kgf/cm}\end{aligned}\quad (27)$$

2.4 Perhitungan Silinder Liner

Material yang digunakan pada silinder liner adalah ASTM A519 Gr, G4000 dengan kekuatan Tarik 40000 psi [10].

1) Diameter dalam silinder liner (D_{is})

Perhitungan diameter dalam silinder *liner* dapat menggunakan persamaan di bawah ini [3].

$$\begin{aligned}D_{is} &= D_{os} - (2 \times t_s) + \Delta \\&= 18,1 - (2 \times 1) + 0,01 \\&= 16,2 \text{ cm} = 162 \text{ mm}\end{aligned}$$

2) Tinggi *flange* silinder liner (h_s)

Ketinggian *flange* pada silinder liner dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini [3].

$$\begin{aligned}h_s &= 0,1 \times D \\h_s &= 0,1 \times 16,1 \\&= 1,6 \text{ cm} = 16 \text{ mm}\end{aligned}\quad (29)$$

3) Tebal dinding silinder liner (t_s)

Rumus berikut ini digunakan untuk menghitung ketebalan dinding silinder liner [3].

$$\begin{aligned}t_s &= (0,05 \times D) + 0,2 \text{ cm} \\t_s &= (0,05 \times 16,1) + 0,2 = 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}\end{aligned}\quad (30)$$

4) Alas *flange* (C)

Ukuran perhitungan alas *flange* dapat menggunakan persamaan di bawah ini [4].

$$\begin{aligned}C &= \frac{h_s}{h_s/C} \\h_s/C &= (3,8 \text{ sampai } 5,9), \text{ diambil } h_s/C = 4, \text{ maka :} \\C &= \frac{h_s}{4} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ cm} = 4 \text{ mm}\end{aligned}\quad (31)$$

5) Diameter luar silinder liner (D_{os})

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung diameter luar silinder liner [5].

$$\begin{aligned}D_{os} &= D + (2 \times t_s) \\D_{os} &= 16,1 + (2 \times 1) \\&= 18,1 \text{ cm} = 181 \text{ mm}\end{aligned}\quad (32)$$

6) Panjang silinder liner (H_d)

Rumus di bawah ini digunakan untuk menghitung panjang silinder liner [5].

$$\begin{aligned}H_d &= L_{rod} + (H - (H_1 + \frac{1}{2} d_{ex})) \\H_d &= 37 + (18,7 - (6,17 + 0,5 (6,11))) \\&= 46,1 \text{ cm} = 461 \text{ mm}\end{aligned}\quad (33)$$

7) Tegangan tarik maksimal liner pada dinding dalam ($\sigma_{t_{max}}$)

Tegangan tarik maksimal yang terjadi pada dinding dalam liner dapat dihitung dengan rumus yang diberikan di bawah ini [3].

$$\begin{aligned}\sigma_{t_{max}} &= \frac{R_c^2 + R_i^2}{R_c^2 - R_i^2} \times P_z \\ \sigma_{t_{max}} &= \frac{9^2 + 8^2}{9^2 - 8^2} \times 72,3 \\ &= 616,9 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}\quad (34)$$

8) Tegangan tarik minimal pada dinding luar ($\sigma_{t_{min}}$)

Tegangan tarik minimal yang terjadi pada dinding luar dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan di bawah ini [3].

$$\begin{aligned}\sigma_{t_{min}} &= \frac{2 R_i^2}{R_c^2 - R_i^2} \times P_z \\ \sigma_{t_{min}} &= \frac{2 \times 8^2}{9^2 - 8^2} \times 72,3 = 208,8 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}\quad (35)$$

2.5 Perhitungan Batang Penggerak

Batang penggerak adalah penghubung gerakan dari poros engkol dengan *piston*. Material

yang digunakan ASTM A216 Gr. WCA dengan kekuatan Tarik 415 sd 585 MPa[11].

1) Panjang batang penggerak (L_{rod})

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung panjang batang penggerak (L_{rod}) [3].

$$L_{rod} = \frac{R}{\lambda} \quad (36)$$

$$R = \frac{L}{2} \quad (37)$$

$$R = \frac{18,3}{2} = 9,2 \text{ cm} = 92 \text{ mm}$$

Sehingga :

$$L_{rod} = \frac{9,2}{0,25} = 37 \text{ cm} = 370 \text{ mm}$$

2) Menghitung tebal *small end* (t_1)

Besarnya t_1 dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut [3].

$$t_1 = (0,8 \text{ sampai } 0,085) \times d_{ex} \quad (38)$$

diambil $t_1 = 0,08 \times d_{ex}$, sehingga :

$$t_1 = 0,08 \times 6,11 = 0,49 \text{ cm} = 4,9 \text{ mm}$$

3) Clearance antara piston pin dengan bushing perunggu (Δ)

Besarnya Δ dapat dihitung menggunakan rumus berikut [3].

$$\Delta = (0,0004 \text{ sampai } 0,0015) \times d_{ex} \quad (39)$$

diambil $\Delta = 0,0015 \times d_{ex}$

$$\Delta = 0,0015 \times 6,11 \\ = 0,01 \text{ cm} = 0,1 \text{ mm}$$

4) Menghitung diameter dalam bushing *small end* (d_b)

Besarnya d_b dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut [3].

$$d_b = d_{ex} + \Delta \quad (40)$$

$$d_b = 6,11 + 0,01 \\ = 6,1 \text{ cm} = 61 \text{ mm}$$

5) Menghitung diameter luar bushing *small end* (d_1)

Diameter (d_1) bisa dihitung dengan menggunakan rumus berikut [3].

$$d_1 = d_b + 2 \times t_1 \quad (41)$$

$$d_1 = 6,1 + 2 \times 1,49 \\ = 7,1 \text{ cm} = 71 \text{ mm}$$

6) Menghitung diameter luar *small end* (D_{end})

Besarnya D_{end} tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [3]

$$D_{end} = d_1 + (2 \times t_3 \\ = 7,1 + (2 \times 1) = 9,1 \text{ cm} = 91 \text{ mm}$$

7) Lebar *small end* (a)

Untuk menghitung lebar *small end* menggunakan rumus berikut [3].

$$a = b_b - (0,2 \text{ sampai } 0,6) \quad (42)$$

diambil $a = b_b - 0,4$, sehingga :

$$a = 6,44 - 0,4 \\ = 6 \text{ cm} = 60 \text{ mm}$$

8) Menghitung diameter dalam bushing *big end* (d_{cp})

Diameter (d_{cp}) bisa dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$d_{cp} = (0,56 \text{ sampai } 0,72) \times D \quad (43)$$

diambil $d_{cp} = 0,72 \times D$

$$d_{cp} = 0,72 \times 161 \text{ mm} = 116 \text{ mm}$$

9) Menghitung lebar *big end* (L_{cp})

Lebar (L_{cp}) bisa dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$L_{cp} = (0,45 \text{ sampai } 0,65) \times d_{cp} \quad (44)$$

diambil $L_{cp} = 0,47 \times d_{cp}$

$$d_{cp} = 0,47 \times 11,6 \\ = 5,5 \text{ cm} = 55 \text{ mm}$$

10) Menghitung tebal bushing *big end* (t_2)

Besarnya t_2 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut. [3].

$$t_2 = (0,03 \text{ sampai } 0,05) \times d_{cp} \quad (45)$$

diambil $t_2 = 0,05 \times d_{cp}$

$$t_2 = 0,05 \times 11,6 = 0,60 \text{ cm} = 60 \text{ mm}$$

11) Menghitung diameter luar bushing *big end* (d_2)

Diameter (d_2) dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$d_2 = d_{cp} + (2 \times t_2) \quad (46)$$

$$d_2 = 11,6 + (2 \times 0,60) \\ = 12,8 \text{ cm} = 128 \text{ mm}$$

12) Menghitung diameter luar (D_o)

Diameter (D_o) dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$D_o = d_2 + 2,4 \text{ cm} \quad (47)$$

$$D_o = 12,8 + 2,4 \\ = 15,2 \text{ cm} = 152 \text{ mm}$$

13) Menghitung jarak sumbu baut (C_b)

Jarak antara sumbu baut dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$C_b = d_2 + 1 \text{ cm} + d \quad (48)$$

$$C_b = 12,8 + 1 + 1,4 \text{ cm}$$

$$C_b = 15,2 \text{ cm} = 152 \text{ mm}$$

2.6 Perhitungan Poros Engkol

Poros engkol berperan dalam mengubah pergerakan *piston* yang bergerak maju-mundur menjadi pergerakan rotasi. Material yang digunakan adalah ASTM A216 Gr. WCA dengan kekuatan tarik 415 sd 585 MPa [11].

1) Tebal pipi engkol (t_{pe})

Tebal dari pipi engkol (t_{pe}) bisa dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$t_{pe} = (0,24 \text{ sampai } 0,27) \times D \quad (49)$$

$$\text{diambil } d_{cp} = 0,25 \times D$$

$$d_{cp} = 0,25 \times 161 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

2) Lebar pipi engkol (b_{pe})

Lebar dari pipi engkol (b_{pe}) dihitung menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$b_{pe} = (1,05 \text{ sampai } 1,3) \times D \quad (49)$$

$$\text{diambil } d_{cp} = 1,2 \times D$$

$$d_{cp} = 1,2 \times 161 \text{ mm} = 193 \text{ mm}$$

3) Panjang pipi engkol (P_{pe})

Panjang dari pipi engkol (P_{pe}) bisa dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$P_{pe} = R + \frac{1}{2} (d_{cp} + d_{mj}) \quad (51)$$

$$R = \frac{L}{2} = \frac{18,3}{2} = 9,15 \text{ cm} = 91,5 \text{ mm}$$

maka:

$$P_{pe} = R + \frac{1}{2} (d_{cp} + d_{mj}), \text{ cm}$$

$$= 9,15 + 0,5 \times (11,6 + 12,9)$$

$$= 21,4 \text{ cm} = 214 \text{ mm}$$

4) Panjang main journal (L_{mj})

Panjang *journal* utama (L_{mj}) dihitung menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$L_{mj} = (0,4 \text{ sampai } 0,6) \times d_{mj} \quad (52)$$

$$\text{diambil } L_{mj} = 0,5 \times d_{mj}$$

$$d_{mj} = 0,5 \times 12,9$$

$$= 6,4 \text{ cm} = 64 \text{ mm}$$

5) Jarak tumpuan main journal (S)

Jarak dari tumpuan *main journal* utama (S) bisa dihitung menggunakan rumus di bawah ini [3].

$$S = L_{cp} + 2 (t_{pe} + 0,5) + L_{mj} + 4 \text{ cm} \quad (53)$$

$$= 5,5 + 2 (4 + 0,5) + 6,4 + 4$$

$$= 24,9 \text{ cm} = 249 \text{ mm}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dari proses perhitungan perancangan komponen utama mesin diesel tersebut di atas berdasarkan data input dari kebutuhan daya dan data lain dari pabrikan mesin yang sudah ada, maka diperoleh data ukuran pada Tabel 2 – 5 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Perancangan Piston (mm)

No	Parameter	Nilai
1	Diameter <i>piston</i> (D)	161
2	Panjang langkah <i>piston</i> (L)	183
3	Tinggi <i>piston</i> (H)	187
4	Tinggi dari puncak <i>piston</i> sampai ring atas (h)	32
5	Tebal <i>piston crown</i> (h_{cr})	28
6	Jarak antara kedua lubang ring <i>piston</i> (h_i)	11
7	Panjang dari sumbu <i>piston pin</i> ke dasar <i>piston</i> (H_1)	61,7
8	Diameter luar <i>pin</i> (d_{ex})	61
9	Jarak tengah-tengah antar <i>pin</i> (b_b)	64
10	Tinggi <i>piston skirt</i> (H_2)	123

Tabel 3. Ukuran Silinder Liner (mm)

No	Parameter	Nilai
1	Tebal <i>flange</i> (h_s)	16
2	Tebal dinding (t_s)	10
3	Alas <i>flange</i> (C)	4
4	Diameter luar (D_{os})	181
5	Diameter dalam (D_{is})	161,5
6	Panjang (H_d)	461

Tabel 4. Ukuran Batang Penggerak (mm)

No	Parameter	Nilai
1	Panjang (L_{rod})	370
2	Ukuran <i>small end</i> (t_1)	4,9
3	<i>Clearance</i> antara <i>piston pin</i> dan <i>bush</i> perunggu (Δ)	0,1
4	Diameter dalam <i>bushing small end</i> (d_i)	61
5	Diameter luar <i>bushing small end</i> (d_1)	71
6	Diameter luar <i>small end</i> (D_{end})	91
7	Lebar <i>small end</i> (a)	60
8	Diameter dalam <i>bushing big end</i> (d_{cp})	116

9	Lebar <i>big end</i> (L_{cp})	55
10	Tebal <i>bushing big end</i> (t_2)	6
11	Diameter luar <i>bushing big end</i> (d_2)	128
12	Diameter luar <i>big end</i> (D_o)	152
13	Jarak sumbu baut (C_b)	152

Tabel 5. Ukuran Poros Engkol (mm)

No	Parameter	Nilai
1	Tebal pipi engkol (t_{pe})	40
2	Lebar pipi engkol (b_{pe})	193
3	Diameter main jurnal (d_{mj})	129
4	Panjang pipi engkol (p_{pe})	214
5	Panjang main jurnal (L_{mj})	64
6	Jarak tumpuan main jurnal (S)	249

Hasil perhitungan di atas merupakan kajian teori maupun tetapan-tetapan yang sering digunakan dalam perancangan *diesel engine*, sehingga diharapkan hasilnya tidak beda jauh dengan kenyataan riil dari pabrikan. Dari data hasil perancangan ini dapat digunakan untuk acuan pendekatan kebutuhan spesifikasi ukuran mesin diesel yang akan di beli. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan simulasi secara numerik (CFD) supaya hasilnya benar² mendekati yang riil dari pabrikan.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan diesel engine generator, maka data-data tersebut dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi yang dibutuhkan mesin diesel 4 langkah 6 silinder Kapasitas daya 550 kW dengan putaran 1500 rpm.

Daftar Pustaka

- [1] Achmad Kusairi. 2018. *Teori Dasar Motor Diesel*. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- [2] Sean Bennett. 2010. *Modern Diesel Technology Diesel Engineis*. N.Y: Delmar, Cengage, Learning.
- [3] Daryanto. 1984. *Contoh Perhitungan Perencanaan Motor Bensin 4 Langkah*. Bandung: Tarsito.
- [4] Gopalakrishnan. 2010. *Simplified Lean Manufacture*. India: Prentice-Hall Publication s.

- [5] Mulyadi. 2009. *Rancangan Motor Diesel Penggerak Generator*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [6] Arismunandar. Wiranto. 1980. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB
- [7] Sumlawi. 2015. *Teori Dasar Motor Diesel*. Banjaramasin: Universitas Lambung Mangkurat
- [8] ASTM A217 Gr. WC6 *Standard Specification for Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure-Containing Parts, Suitable for High-Temperature Service*¹ May 2009
- [9] ASTM A48 Class 40 *Standard Specification for Gray Iron Castings*¹ May 2009
- [10] ASTM A159 Gr. G4000 *Standard Specification for Automotive Gray Iron Castings*¹ May 2009
- [11] ASTM A216 Gr. WCA *Standard Specification for Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding, for High-Temperature Service*¹ May 2009

Daftar Notasi

- a = Lebar *small end*, cm.
 a' = Jarak antara sisi *boss* dengan bagian Tengah *pin*, cm.
 A_{max} = Luas penampang bawah, cm².
 A_{min} = Luas penampang atas, cm².
 b = Lebar *ring*, cm.
 b_b = Jarak tengah-tengah antara *pin*, cm.
 b_{pe} = Lebar pipi engkol, cm.
 b_1 = Tebal keseluruhan, cm.
 C = Alas flange, cm.
 C_b = Jarak sumbu baut, cm.
 C_m = Kecepatan rata-rata *piston*, m/s.
 D = Diameter *piston*, cm.
 d = Diameter poros engkol, cm.
 D_{end} = Diameter luar batang penggerak bagian atas, cm.
 D_o = Diameter luar, cm.
 D_{os} = Diameter luar silinder liner, cm.
 d_i = Diameter dalam *bushing smal end*, cm.
 d_{cp} = Diameter dalam *bushing big end*, cm.
 d_{ex} = Diameter luar *pin*, cm.
 d_{mj} = Diameter *main journal*, cm.
 d_1 = Diameter luar *bushing smal end*, cm.
 d_2 = Diameter luar *bushing big end*, cm.
 E = Modulus elastis, kgf/cm².
 f = Luas irisan melintang *piston pin*, cm².
 G = Berat bobot-kontra seluruhnya, kgf.
 G_e = Berat engkol, kgf.
 G_p = Berat pipi engkol, kgf.
 G_{cp} = Berat *crank pin*, kgf.
 G_{cr} = Berat batang *piston*, kgf.

G_1	= Berat <i>small end</i> , kgf.
G_2	= Berat batang, kgf.
G_3	= Berat <i>big end</i> , kgf.
H	= Tinggi piston, cm.
H_d	= Panjang silinder liner, cm.
H_1	= Panjang dari sumbu <i>piston pin</i> sampai dasar <i>piston</i> , cm.
H_2	= Tinggi <i>piston skirt</i> , cm.
h	= Tinggi dari puncak <i>piston</i> sampai <i>ring</i> atas, cm.
h_a	= Lebar bagian atas, cm.
h_b	= Lebar bagian bawah, cm.
h_s	= Tinggi flange silinder liner, cm.
h_{cr}	= Tebal <i>piston crown</i> , cm.
h_1	= Jarak antara kedua lubang <i>ring piston</i> , cm.
i	= Jumlah silinder
L	= Langkah <i>piston</i> , cm.
L_1	= Jarak center kedua <i>boss</i> , cm.
L_{cp}	= Lebar <i>big end</i> , cm.
L_{mj}	= Panjang <i>main journal</i> , cm.
L_{pp}	= Jarak sisi <i>boss</i> , cm.
L_{rod}	= Panjang batang penggerak, cm.
M_t	= Momen puntir yang terjadi, kgf.cm.
M_{max}	= Momen bending maksimum, kgf.cm ² .
Mb_{max}	= Momen bending maximum pada poros engkol, kgf.cm.
M_{gab}	= Momen gabungan antara bending dan puntiran, kgf.cm.
N_e	= Daya output generator, kW.
N_{max}	= Bebean normal maksimum pada dinding peluncur, kgf.
n	= Putaran mesin, rpm.
p_e	= Tekanan efektif rata-rata, kgf/cm ² .
p_{pe}	= Panjang pipi engkol, cm.
p_z	= Tekanan akhir pembakaran, kgf/cm ² .
q	= Tekanan samping spesifik maksimum, kgf/cm ² .
R	= Radius engkol, cm.
R_A	= Gaya reaksi pada titik A, kgf.
R_B	= Gaya reaksi pada titik B, kgf.
R_c	= Jari-jari luar silinder, cm.
R_i	= Jari-jari dalam silinder, cm.
S	= Jarak tumpuan <i>main journal</i> , cm.
t	= Tebal <i>ring</i> , cm.
t_s	= Tebal dinding silinder liner, cm.
t_i	= Tebal profil I, cm.
t_{pe}	= Tebal pipi engkol, cm.
t_1	= Tebal <i>small end</i> , cm.
t_2	= Tebal <i>bushing big end</i> , cm.
V_c	= Volume ruang bakar, cm ³ .
V_c	= Volume Langkah piston, cm ³ .
W	= Momen usaha, kgf.cm.
σ_b	= Tegangan bending, kgf/cm ² .
σ_i	= Tegangan maksimum pada <i>ring piston</i> kgf/cm ² .
$\sigma_{t_{max}}$	= Tegangan tarik maksimal, kgf/cm ² .
$\sigma_{t_{min}}$	= Tegangan tarik minimal, kgf/cm ² .
σ_{sh}	= Tegangan gesar, kgf/cm ² .
η_{ch}	= Rendemen pengisian udara, %
η_m	= Efisiensi mekanik, %