

Model Matematik dari Spark Ignition Engine FIAT DEDRA V6

Irianto¹

¹Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111
Telp(+62) 031-5947280 Fax(+62) 031-5946114

Abstrak— Pemodelan matematik dari *spark ignition engine* (SIE) berupa *engine stand* yaitu motor bakar bensin mobil FIAT DEDRA V6 selama ini banyak didominasi oleh model matematik sistem siso, yaitu masukannya berupa *Spark advanced position A(s)* (*time ignition*) di dalam ruang bakar (silinder) atau dapat berupa *Duty cycle of the throttle valve D(s)* sebagai penyebab variasi *Air to Fuel Ratio* (AFR) terhadap keluaran berupa *speed engine* atau *manifold pressure*. Pemodelan matematik dari *plant* SIE pada penelitian ini, bagaimana menentukan hubungan antar kedua keluaran terhadap pengaruh dari kedua masukan tersebut di atas.

Hubungan dari kedua keluaran terhadap kedua masukan dinyatakan dengan *transfer function* berbentuk matrix sistem multi input multi output (mimo) 2X2 dari SIE, sehingga subsistem-subsistem dari *plant engine* didapat dengan menggunakan metode superposisi dari kedua keluaran *speed engine* dan *manifold pressure* terhadap kedua masukan yaitu *Duty cycle of the throttle valve* dan *Spark advanced Position*. Hasil yang didapat disimulasikan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh dari masing-masing masukan yang memberikan kontribusi ke keluaran terhadap subsistem-subsistem sistem mimo dari *plant spark igniton engine*.

Kata Kunci— Model matematik, SIE, *Duty cycle of the throttle valve*, *Spark advanced position*, *Speed engine*, *Manifold absolut pressure*, Superposisi.

1 PENDAHULUAN

Perkembangan dunia otomotif tak akan lepas dari permasalahan sistem *spark ignition engine*, yaitu motor. Sedangkan motor itu sendiri dapat diartikan suatu alat yang dapat menghasilkan tenaga atau energi mekanis. Di dalam penelitian ini *plant* yang digunakan berupa *engine stand* yaitu motor bakar bensin dari mobil FIAT DEDRA V6.

Penelitian dilakukan untuk menganalisa sistem tentang bagaimana pengaruh model matematik dari *speed engine* dan *manifold pressure* terhadap dua masukan berupa *spark advanced position (time ignition)* dan *throttle valve*. Kondisi dari *plant engine* tersebut di atas dibagi menjadi tiga kondisi operasi, yaitu: operasi tanpa beban, beban rendah, dan gigi – 1 yang semuanya menjadi satu kesatuan dalam sistem dari *plant spark ignition engine*.

2 TEORI DASAR

2.1 Prinsip Kerja Spark igniton Engine

Motor bensin yang menggerakkan hampir pada semua jenis kendaraan bermotor sejak semula dikenal sebagai motor Otto (*Otto cycle*). Motor tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan percikan/ loncatan bunga api listrik yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara segar, karena itu motor bensin cenderung dinamakan **Spark Ignition Engine**.

Karburator adalah tempat pencampuran bahan bakar dengan udara. Campuran tersebut kemudian masuk ke dalam silinder yang dinyalakan oleh loncatan bunga api listrik dari busi, menjelang akhir langkah kompresi. Pembakaran bahan bakar-udara ini menyebabkan mesin/motor menghasilkan daya.

Proses pembakaran di dalam motor bakar torak terjadi secara periodik, ketika torak di dalam silinder bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju TMB (titik mati bawah) peristiwa ini disebut **langkah isap** (*induction*). Setelah mencapai TMB, torak bergerak kembali ke TMA. Proses pemampatan ini disebut **langkah kompresi** (*compression*) atau langkah tekan, yaitu ketika torak bergerak dari TMB menuju TMA. Selama torak bergerak dari TMA ke TMB yang merupakan **langkah kerja atau langkah ekspansi** (*combustion*), volume gas

pembakaran di dalam silinder bertambah besar dan karena itu tekanannya turun. Apabila torak telah mencapai TMB, katup buang sudah terbuka sedangkan katup isap tetap tertutup, torak bergerak kembali ke TMA mendesak gas pembakaran keluar dari dalam silinder melalui saluran buang. Proses pengeluaran gas pembakaran ini dinamakan **langkah buang** (*exhaust*).

Didalam satu siklus itu torak bergerak sepanjang TMA-TMB-TMA-TMB-TMA. Motor bakar torak yang bekerja dengan siklus lengkap seperti ini termasuk golongan motor 4 langkah (*4-takt*).

Pada motor bakar torak yang lazim, yaitu motor bakar torak yang mempergunakan batang penggerak dan poros engkol, gerak torak TMA-TMB-TMA itu memutar poros engkol satu kali (360° sudut engkol). Karena itu motor 4 langkah adalah motor bakar torak yang melengkapi siklusnya (dengan satu kali pembakaran) selama dua putaran poros engkol.

2.2 Model matematik Filling Emptying kecepatan aliran udara

Berikut ini diberikan metode pendekatan dari *filling emptying*, kecepatan aliran udara ke dalam *intake manifold* dinyatakan oleh persamaan diferensial berikut ini :

$$\frac{dm_{a,m}}{dt} = \dot{m}_{a,th} - \sum \dot{m}_{a,cyl} = \dot{m}_{a,th} - \dot{m}_{a,e} \quad (1)$$

yang mana kecepatan aliran udara melalui *throttle body* adalah dihitung berdasarkan anggapan proses *isotropic*. Kecepatan aliran udara di gerbang dihitung berdasarkan kerapatan kecepatan (*speed density*).

$$\dot{m}_{a,e} = \sum \dot{m}_{a,cyl} = \frac{\eta_v V_D n P_m}{2RT_m} \quad (2)$$

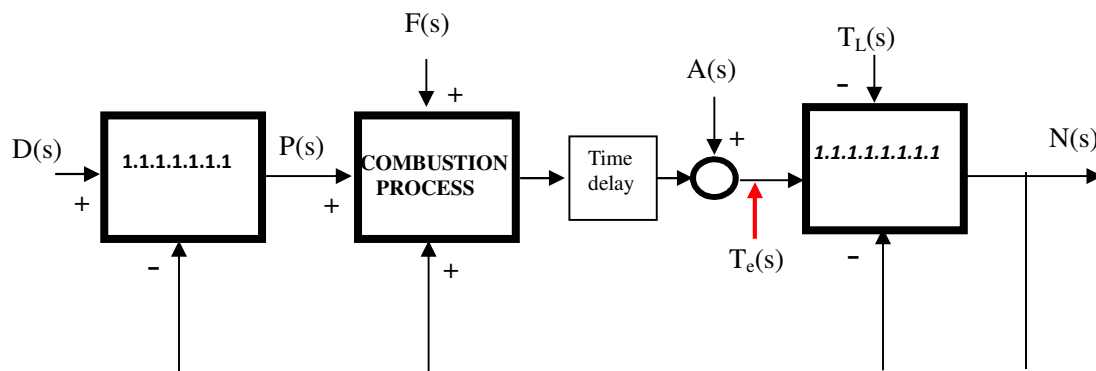
C_D (koefisien *discharge*) dan η_v (efisiensi *volumetric*) keduanya diperoleh melalui regresi polynomial berdasarkan percobaan. Dengan mengabaikan variasi dari temperatur manifold rata-rata dan mendiferensiasikan hukum gas ideal, mak persamaan dari *filling emptying* diasumsikan berbentuk *state-space* berikut ini:

$$\dot{p}_m = RT_m \rho_{a,m} (\dot{m}_{a,th} - \dot{m}_{a,e}) \quad (3)$$

3 ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Plant

Blok diagram dari *engine model* di atas dapat dibagi atas tiga tahapan proses yaitu: *filling dynamics*, *combustion process* dan *rotational dynamics*. Blok diagram secara lengkap dari tahapan-tahapan di atas dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 1. Blok diagram model engine

Transfer function dari masing-masing tahapan proses di atas berturut-turut sebagai berikut :

1. Transfer function dari filling dynamics:

$$P(s) = \frac{1}{s + k_2} [k_1 D(s) - k_3 N(s)] \quad (4)$$

2. Transfer function dari proses combustion:

$$T_e(s) = e^{-\tau_d s} [k_4 P(s) + k_5 N(s) + k_f F(s)] + k_6 A(s) \quad (5)$$

3. Transfer function dari rotational dynamics:

$$N(s) = \frac{1}{Js + k_7} [T_e(s) - T_L(s)] \quad (6)$$

Kombinasi dari persamaan *transfer function* dari masing-masing tahapan, yaitu persamaan (4), (5) dan (6) maka didapat hasil sebagai berikut ini:

$$N(s) = \frac{c_1 c_3 c_7}{\alpha} D(s) + \frac{c_6 c_7}{\alpha} A(s) + \frac{c_5 c_7}{\alpha} F(s) - \frac{c_7}{\alpha} T_L(s) \quad (7)$$

$$P(s) = \frac{\alpha c_1 - c_1 c_2 c_3 c_7}{\alpha} D(s) - \frac{c_2 c_6 c_7}{\alpha} A(s) - \frac{c_2 c_5 c_7}{\alpha} F(s) + \frac{c_2 c_7}{\alpha} T_L(s) \quad (8)$$

dengan

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{k_1}{s + k_2} & c_5 &= e^{-\tau_d s} k_f \\ c_2 &= \frac{k_3}{s + k_2} & c_6 &= k_6 \\ c_3 &= e^{-\tau_d s} k_4 & c_7 &= \frac{1}{Js + k_7} \\ c_4 &= e^{-\tau_d s} k_5 & \alpha &= 1 + c_2 c_3 c_7 - c_4 c_7 \end{aligned}$$

Sehingga *plant* dari *spark ignition engine* berupa matrix transfer 2×2 ,

dimana

$$P_{11} = \frac{c_1 c_3 c_7}{\alpha}$$

$$P_{12} = \frac{k_1 k_4}{(Js^2 + Jk_2 s + k_7 s + k_2 k_7) e^{\tau_d s} + k_3 k_4 - k_5 s - k_2 k_5}$$

$$P_{21} = \frac{k_1 k_4}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{12} = \frac{c_6 c_7}{\alpha}$$

$$P_{12} = \frac{k_6 (s + k_2)}{(Js^2 + Jk_2 s + k_7 s + k_2 k_7) e^{zds} + k_3 k_4 - k_5 s - k_2 k_5}$$

$$P_{12} = \frac{k_1 k_4}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{21} = \frac{\alpha c_1 - c_1 c_2 c_3 c_7}{\alpha}$$

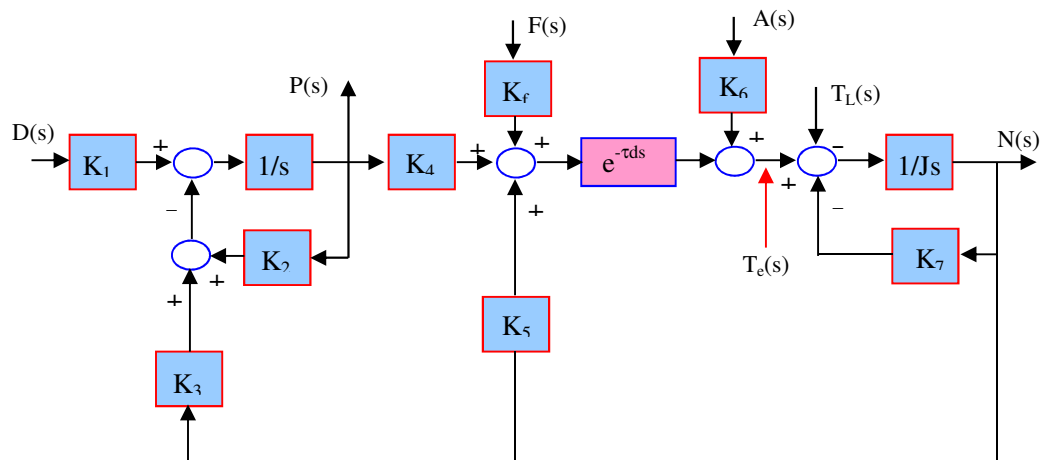
$$P_{21} = \frac{(Jk_1 s + k_1 k_7) e^{zds} - k_1 k_5}{(Js^2 + Jk_2 s + k_7 s + k_2 k_7) e^{zds} + k_3 k_4 - k_5 s - k_2 k_5}$$

$$P_{21} = \frac{(Jk_1 s + k_1 k_7 - k_1 k_5)}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{22} = -\frac{c_2 c_6 c_7}{\alpha}$$

$$P_{22} = \frac{-k_3 k_6 e^{zds}}{(Js^2 + Jk_2 s + k_7 s + k_2 k_7) e^{zds} + k_3 k_4 - k_5 s - k_2 k_5}$$

$$P_{22} = \frac{-k_3 k_6}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$



Gambar 2. Blok diagram Spark Ignition Engine yang disempurnakan

Bentuk matrix transfer dari model *spark ignition engine* adalah :

$$\begin{bmatrix} N(s) \\ P(s) \end{bmatrix} = P_{ij}(s) \begin{bmatrix} D(s) \\ A(s) \end{bmatrix} \text{ dimana } P_{ij} \text{ adalah :}$$

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \text{ sehingga model transfer function matrixnya dari spark ignition engine secara keseluruhan}$$

adalah :

$$\begin{bmatrix} N(s) \\ P(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D(s) \\ A(s) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$N(s) = P_{11}D(s) + P_{12}A(s) \quad (10)$$

$$P(s) = P_{21}D(s) + P_{22}A(s)$$

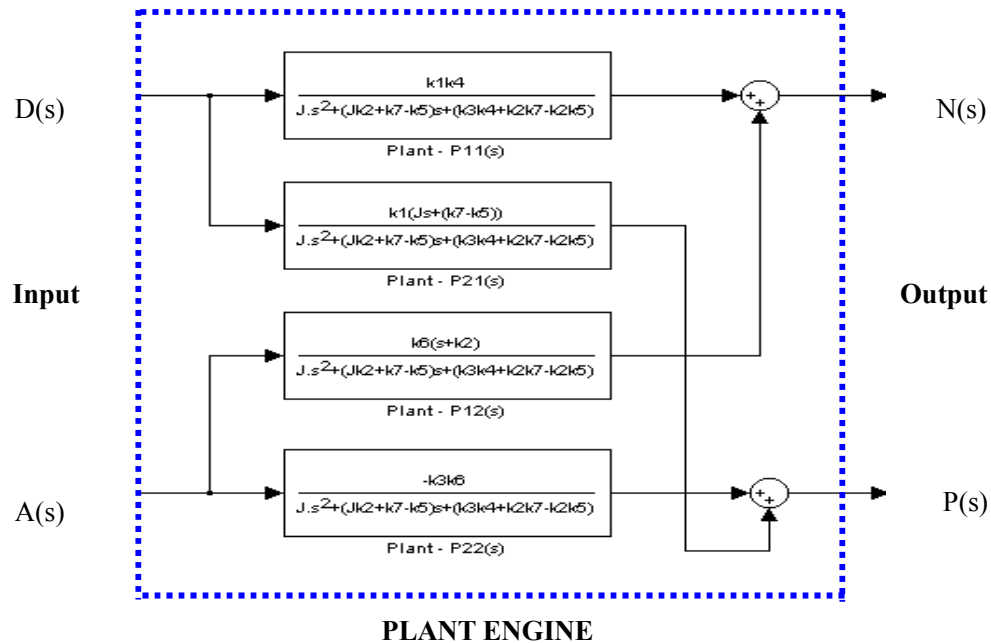
Dengan masing-masing *plant* terhadap input *i* dan output *j* adalah :

$$P_{11}(s) = \frac{k_1 k_4}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{12}(s) = \frac{k_6(s + k_2)}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{21}(s) = \frac{k_1 [Js + (k_7 - k_5)]}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$

$$P_{22}(s) = \frac{-k_3 k_6}{Js^2 + (Jk_2 + k_7 - k_5)s + (k_3 k_4 + k_2 k_7 - k_2 k_5)}$$



Gambar 3. Blok diagram transfer function dari Spark Ignition Engine

Di dalam penelitian ini *spark ignition engine* dioperasikan dalam tiga kondisi operasi, yaitu:

1. Engine beroperasi tanpa beban pada *idle speed*.
2. Engine beroperasi dengan beban rendah pada *idle speed*.
3. Engine beroperasi dengan gigi – 1.

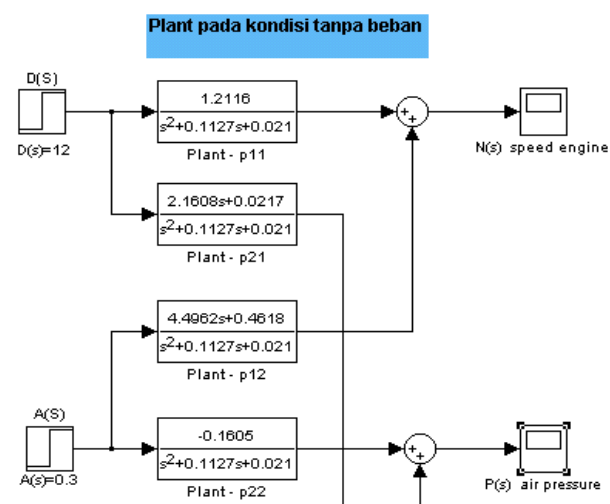
Data-data untuk tiap-tiap konstanta dari k_1 sampai k_7 dan nilai momen inersia beban untuk ketiga kondisi operasi di atas ditabelkan sebagai berikut:

TABEL 1. TIGA KONDISI OPERASI ENGINE

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	J
A	2,1608	0,1027	0,0357	0,5607	2,0183	4,4962	2,0283	1,000
B	3,4329	0,1627	0,1139	0,2539	1,7993	2,0247	1,8201	1,000
C	2,1608	0,1027	0,0357	0,5607	1,7993	4,4962	1,8201	10,000

3.2 Hasil uji simulasi dari model matematik

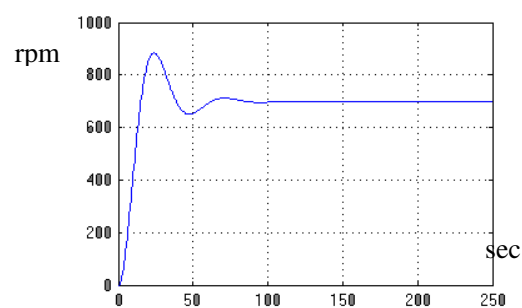
3.2.1 Kondisi tanpa beban



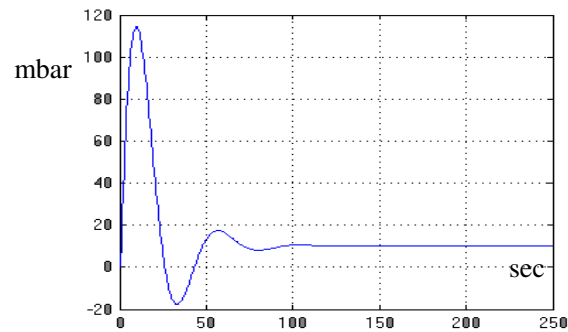
Gambar 4. Spark Ignition Engine pada kondisi tanpa beban

Pada kondisi ini *plant* dari *spark ignition engine* diberi masukan

$$D(s) = 12^\circ \text{ dan } A(s) = 17,2^\circ$$

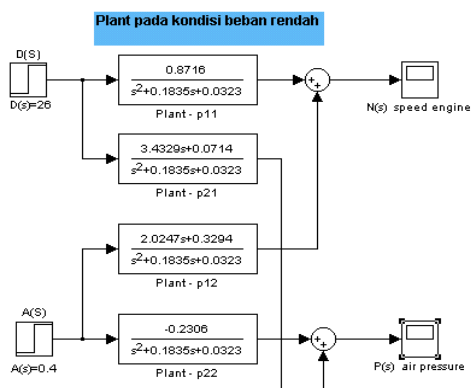


Gambar 5. Speed engine $N(s)$ rpm tanpa beban dalam kondisi idle speed



Gambar 6. Manifold pressure $P(s)$ mbar tanpa beban dalam kondisi idle speed

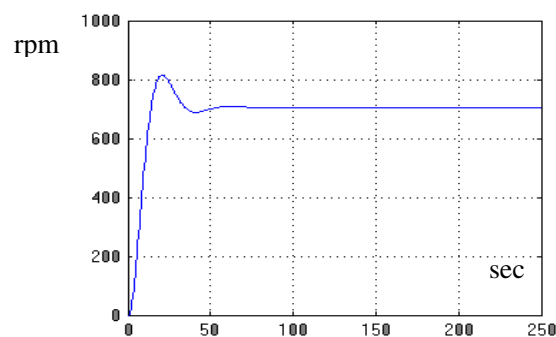
3.2.2 Kondisi beban rendah



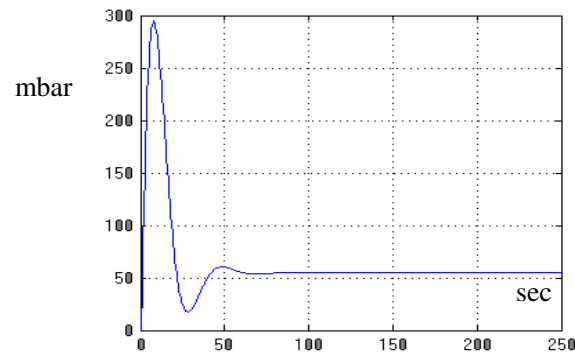
Gambar 7. Spark Ignition Engine pada kondisi beban rendah

Pada kondisi ini *plant* dari *spark ignition engine* diberi masukan

$$D(s) = 26^\circ \text{ dan } A(s) = 22,93^\circ$$

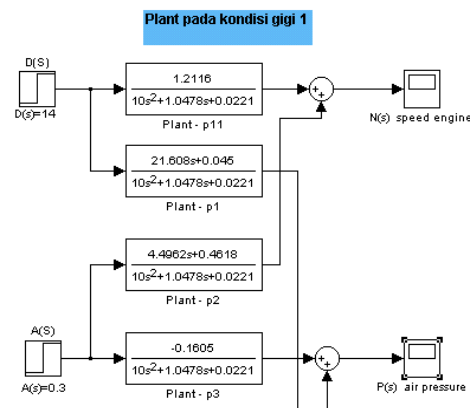


Gambar 8. Speed engine $N(s)$ rpm beban rendah dalam kondisi idle speed



Gambar 9. Manifold pressure $P(s)$ mbar beban rendah dalam kondisi idle speed

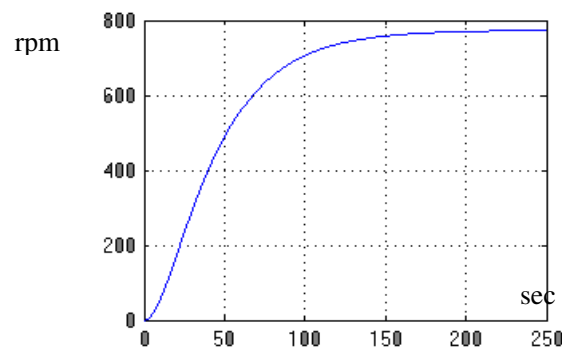
3.2.3 Kondisi gigi – 1



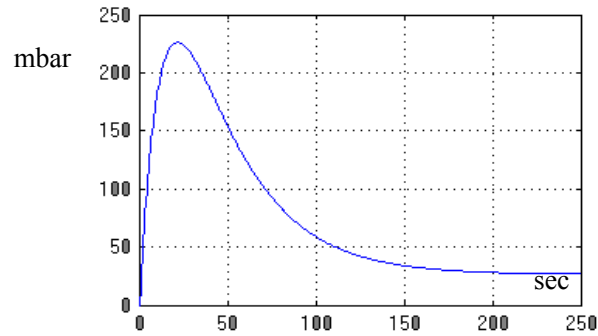
Gambar 10. Spark Ignition Engine pada kondisi beban gigi - 1

Pada kondisi ini *plant* dari *spark ignition engine* diberi masukan

$$D(s) = 14^\circ \text{ dan } A(s) = 17,2^\circ$$



Gambar 11. Speed engine $N(s)$ rpm dalam kondisi gigi - 1



Gambar 12. Manifold pressure P(s) mbar dalam kondisi gigi – 1

4 KESIMPULAN

1. Dari hasil simulasi model matematik *spark ignition engine* terlihat bahwa untuk kedua kondisi *engine* tanpa beban dan beban rendah bekerja secara baik, hal ini terlihat pada *speed engine* untuk kedua kondisi di atas masih dapat dipertahankan pada *idle speed* sekitar 700 rpm.
2. Khusus untuk kondisi *engine* gigi 1 terlihat bahwa *response* sistem dari SIE berbeda dengan dua kondisi sebelumnya, ini semua disebabkan karena parameter-parameter dari subsistem *plant* yang kuat ataupun yang lemah tidak saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Hal ini terlihat dengan jelas adanya interaksi antar subsistem dari *plant* SIE dan juga adanya perbedaan sangat besar nilai parameter dari subsistem *plant* untuk kondisi ini.
3. Manifold *pressure* dari sistem mimo *spark ignition engine* selalu berubah ubah untuk ketiga kondisi *engine*. Hal ini disebabkan karena terjadinya interaksi antar subsistem (model matematik) dari *plant engine*, keluaran dari *speed engine* sangatlah berpengaruh besar terhadap kontribusi ke *manifold pressure*.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Denton, Tom, "Automobile Electrical and Electronic System", Colchester Institute, Colchester, Essex, 1995.
- [2] Borghesani, Craig, Yossi Chait and Oded Yaniv, "The QFT frequency Domain Control Design Toolbox", Terrasoft Inc, [http://www.Terrasoft.com/QFT/QFT manual.pdf](http://www.Terrasoft.com/QFT/QFT%20manual.pdf), 2001.
- [3] Arismunandar, Wiranto, "Motor Bakar", ITB Bandung, 1996.
- [4] Goodwin, Graham C, Graebe Stefan F, Salgado, Mario, "Control System Design", Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [5] Ogata, Katsuhiko, "Modern Control Engineering", Prentice Hall Inc, New Jersey, 1997.
- [6] Van De Vegte, Jhon, "Feedback Control System", Prentice Hall Inc, New Jersey, 1994.
- [7] Dorf, Richard C, Bishop, Robert H, "Modern Control Systems", Prentice Hall. Inc, New Jersey, 2001.
- [8] Kuo, Benyamin C, "Automatic Control Systems", Prentice Hall Inc, New Jersey, 1995.