

# KONTROL ROBUST IDLE SPEED MITSUBISHI 4G63 DENGAN METODE MULTI INPUT MULTI OUTPUT

Indah Nur

Pogram Studi Tenik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

Email: indah.asmantowi@gmail.com

**Abstrak** -- Salah satu kerja mesin otomotif adalah kinerja idle speed yang secara signifikan dipengaruhi oleh parameter kontrol pada electronic control unit (ECU). Pada mesin, idle speed merupakan kompromi antara kecepatan mesin rendah untuk menghemat bahan bakar dan kemampuan untuk menolak gangguan dengan baik. Gangguan putaran mesin terjadi karena permintaan listrik pada alternator, yang mana dengan cepat akan menyebabkan naiknya kecepatan mesin sehingga bahan bakar yang di injeksi akan lebih banyak. Idle speed pada penelitian ini akan dikontrol menggunakan metode pengaturan robust multi input multi output (MIMO) yang mana sistem akan lebih kuat atau robust terhadap gangguan yang diberikan, kemudian menghasilkan perpaduan performance kecepatan optimal dengan emisi gas buang yang dihasilkan dalam seperti yang diinginkan serta waktu yang digunakan untuk kembali pada kecepatan idle speed yang diinginkan lebih cepat.

**Kata kunci:** Idle Speed, Kontrol Handal SISO, MIMO

**Abstract** -- One work in the performance automotive engine idle speed which is significantly influenced by the control parameters of the electronic control unit (ECU). In the engine, the idle speed is a compromise between low engine speeds to save fuel and the ability to reject interference well. Disruption occurs because the engine turns the alternator electricity demand, which will quickly lead to increased speed of the engine so that the fuel in the injection will be more. Idle speed on this study will be controlled using the method of setting robust multi-input multi-output (MIMO) in which the system will be more powerful or robust against interference given, then produce a fusion performance optimum speed with the exhaust emissions are generated in such a desirable and time used to return to the idle speed speed faster

**Key Words :** Idle Speed, Robust Control, SISO, MIMO

## PENDAHULUAN

Idle Speed adalah kecepatan putar mesin pada saat kondisi pedal gas tidak tertekan atau langsam. Pada sistem ini,, waktu pengapian, pengaturan bukaan area katup udara (*air control valve*) atau stepper dan waktu injeksi bahan bakar (*fuel injection time*) merupakan faktor yang signifikan mempengaruhi kecepatan mesin. Bahkan, konsumsi bahan bakar dan kualitas emisi gas buang sangat penting untuk kestabilan mesin. (Hrovat and Sun, 1997).

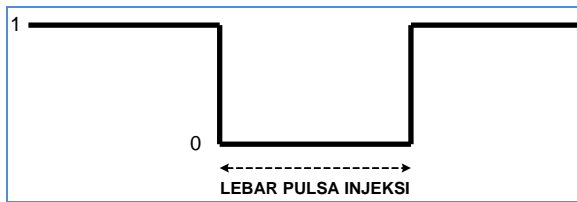
Sedangkan gangguan putaran mesin dikarenakan permintaan listrik pada alternator seperti lampu, pompa *power-steering* atau unit AC dapat dengan cepat mempengaruhi mesin sehingga menyebabkan naik turunnya kecepatan yang dapat menyebabkan injeksi bahan bakar ke ruang bakar menjadi lebih banyak. Hal ini menyebabkan getaran pada pendorong atau kemungkinan mesin macet (Chen et al., 2011).

Pada mesin modern, efisiensi idle speed diperlukan untuk memenuhi kebutuhan kestabilan putaran mesin, emisi gas buang yang

dihasilkan dan waktu *delay* yang minimal untuk kembali keputaran stabil setelah mendapatkan gangguan (Czarnigowski, 2008). Oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan dari idle speed. Idle Speed Control (ISC) berfungsi untuk mengontrol kecepatan putaran mesin saat kondisi idle. Dikarenakan memiliki beberapa parameter yang mempengaruhi kerja idle speed, maka dengan menggunakan pengaturan robust, pemodelan sistem akan dilakukan dengan menggunakan metode *multi input multi output (MIMO)* (Wahid dan Hambali, 2015).

Penelitian ini merupakan lanjutan dari mesin Mitsubishi 4G63 pada keadaan idle yang awalnya menerapkan algoritma kontroler PID pada waktu pengapian dan injeksinya. Beberapa hal yang dilakukan pengembangan antara lain mengenai pengaturan kecepatan idle dengan menerapkan metode kontrol robust dengan melakukan pengaturan pada derajat pengapian, waktu injeksi, dan bukaan katup idle speed dengan mempertimbangkan dari emisi gas buang (Wu et al., 2008).

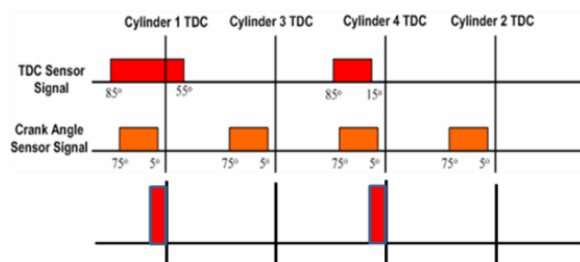




Gambar 1. Lebar pulsa injeksi dalam waktu

**Pengaturan Waktu Pengapian**

Waktu pengapian dilakukan dengan perintah dari sensor TDC dan CAS, yang mana informasi yang dikirim berupa sinyal kotak yang mewakili letak sudut piston. Letak sudut piston ditentukan  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$  sebelum titik mati atas atau BTDC (*before top dead center*). Selajutnya, masing-masing sudut tersebut dicari hubungan dalam fungsi matematika dengan keluaran *plant* yaitu putaran mesin, MAP dan emisi gas buang atau lambda. Penentuan derajat pengapian dapat dilihat pada Gambar 2.



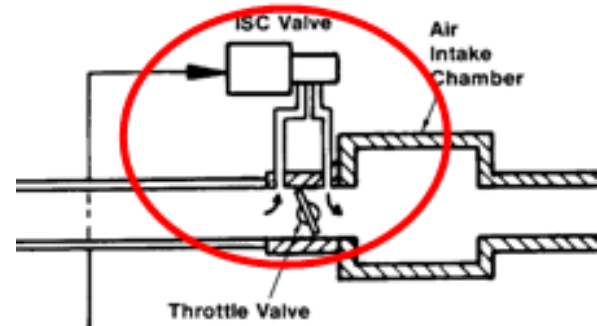
Gambar 2. Penentuan Derajat Pengapian

**Pengaturan Buka Valve Idle Speed**

Stepper atau idle speed valve bekerja pada saat mesin dalam kondisi "ON" dengan putaran 0%-100% berdasarkan pulse listrik yang diterapkan pada mesin. Stepper termasuk kontrol umpan balik dan kontrol posisi. Dalam kendali umpan balik unit kontrol mesin menghitung kecepatan idle yang sebenarnya, dan jika nilai berbeda dari kecepatan idle target, unit stepper motor akan berputar menyesuaikan kecepatan nilai yang diinginkan. Sedangkan dalam kendali posisi kontrol kecepatan disesuaikan dengan posisi sasaran untuk mengatasi perubahan kecepatan akibat adanya gangguan atau perubahan beban (Albertoni et al., 2003).

Untuk data input dari ditentukan bukaan stepper 10%, 20%, dan 30% untuk kondisi stasioner, serta 40% dan 60% untuk kondisi idle speed dengan beban. Kontruksi dasar dari idle speed kontrol dapat diliaht pada Gambar 3.

**BASIC CONSTRUCTION OF ISC**



Gambar 3. Kontrol Idle Speed

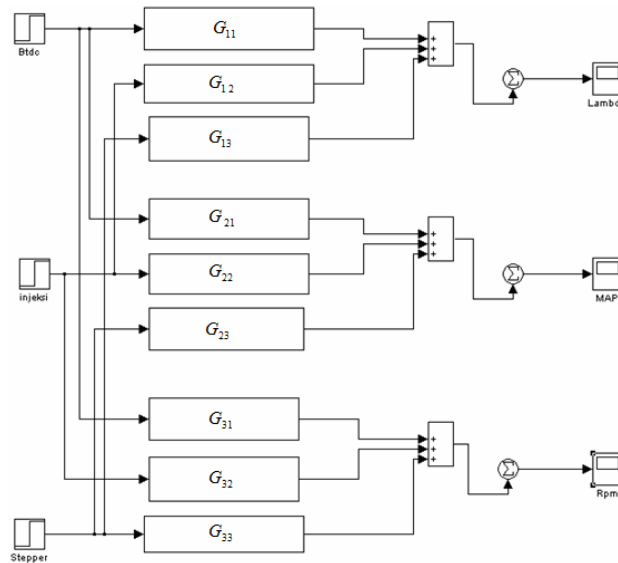
**Pemodelan Sistem (MIMO)**

Model matematika awalnya diperoleh dari identifikasi secara single input single output (SISO) yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan melakukan pendekatan dengan metode ARMAX antara masukan  $u_k$  dan keluaran  $y_k$  sehingga menghasilkan model sistem dalam bentuk diskrit. Bentuk model yang diperoleh kemudian diubah kedalam bentuk kontinyu sehingga memperoleh model matematika orde 2 dan orde 3 (Hsieh et al., 2007).



Gambar 4. Identifikasi SISO

Dari masing-masing hubungan masukan  $u_k$  dan keluaran  $y_k$  didapatkan 9 (sembilan) model fungsi alih yang akan dirangkai menjadi model multi input multi output (MIMO) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (Wong et al., 2010). Data indentifikasi diperlihatkan pada Tabel 2 dan 3.



Gambar 5. Pemodelan MIMO

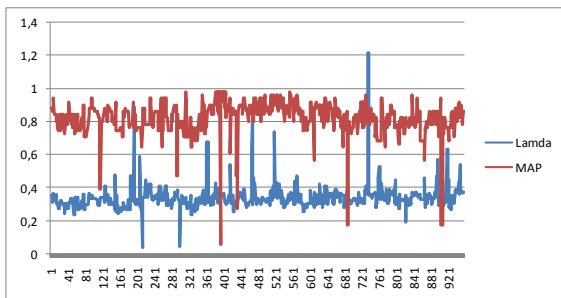
Tabel 2. Titik Kerja Pengapian

Injeksi (ms)	Buka idle speed valve (%)	Sudut Pengapian								
		5° BTDC			10° BTDC			15° BTDC		
		Lamda	MAP	RPM	Lamda	MAP	RPM	Lamda	MAP	RPM
33	10	0.41	0.76	750	0.39	0.686	900	0.38	0.823	1005
	20	0.51	0.80	855	0.43	0.823	1035	0.41	0.862	1140
	30	0.56	0.83	960	0.48	0.862	1305	0.48	0.92	1200

Tabel 3 Titik Kerja Waktu Injeksi

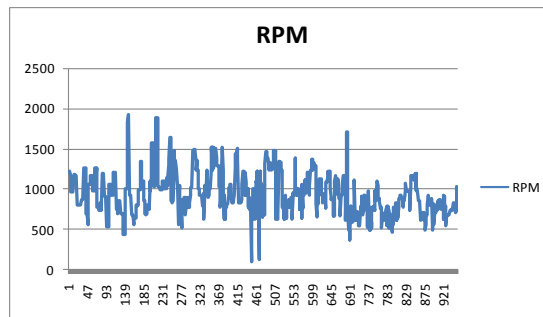
Sudut	Buka idle speed valve (%)	Injeksi								
		Injeksi 20			Injeksi 33			Injeksi 40		
		Lamda	MAP	RPM	Lamda	MAP	RPM	Lamda	MAP	RPM
5	10	0.42	0.823	825	0.41	0.76	750	0.39	0.76	750
	20	0.46	0.86	945	0.51	0.83	855	0.48	0.82	855
	30	0.43	0.901	1110	0.53	0.92	960	0.38	0.90	960

Dan dari hasil identifikasi nilai lamda dan MAP keluaran dari sistem seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Keluaran Identifikasi Plant untuk Lambda dan MAP

Sedangkan hasil identifikasi untuk keluaran nilai putaran mesin dalam RPM dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Keluaran Identifikasi Plant untuk RPM

Dari data hasil identifikasi maka diperoleh model sistem dengan menggunakan pendekatan dengan metode ARMAX antara masukan  $u_k$  dan keluaran  $y_k$  sehingga menghasilkan model plant dalam bentuk diskrit.

Bentuk model yang diperoleh kemudian diubah kedalam bentuk kontinyu sehingga memperoleh fungsi alih dalam orde 2 dan orde 3. Fungsi alih yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4 sampai Tabel 6.

Tabel 4. Fungsi Alih Sudut Pengapian terhadap keluaran *plant*

Keluaran	Diskrit	Kontinyu
Lamda	$\frac{0.02738z + 0.4163}{z^2 - 0.01662z - 0.2528}$	$\frac{0.05381s^2 - 1.402s + 14.26}{s^3 + 10.4s^2 + 282.8s + 869.6}$
MAP	$\frac{0.0039634z + 0.1426}{z^2 - 0.026448z - 0.9516}$	$\frac{0.01742s^2 - 0.4136s + 4.355}{s^3 + 0.4399s^2 + 246.8s + 13.88}$
Kecepatan	$\frac{0.01927z + 0.4804}{z^2 - 0.02011z - 0.5013}$	$\frac{0.233s^2 - 5.063s + 59.75}{s^3 + 0.921s^2 + 247s + 5.463}$

Tabel 5. Fungsi Alih Waktu injeksi terhadap keluaran *plant*

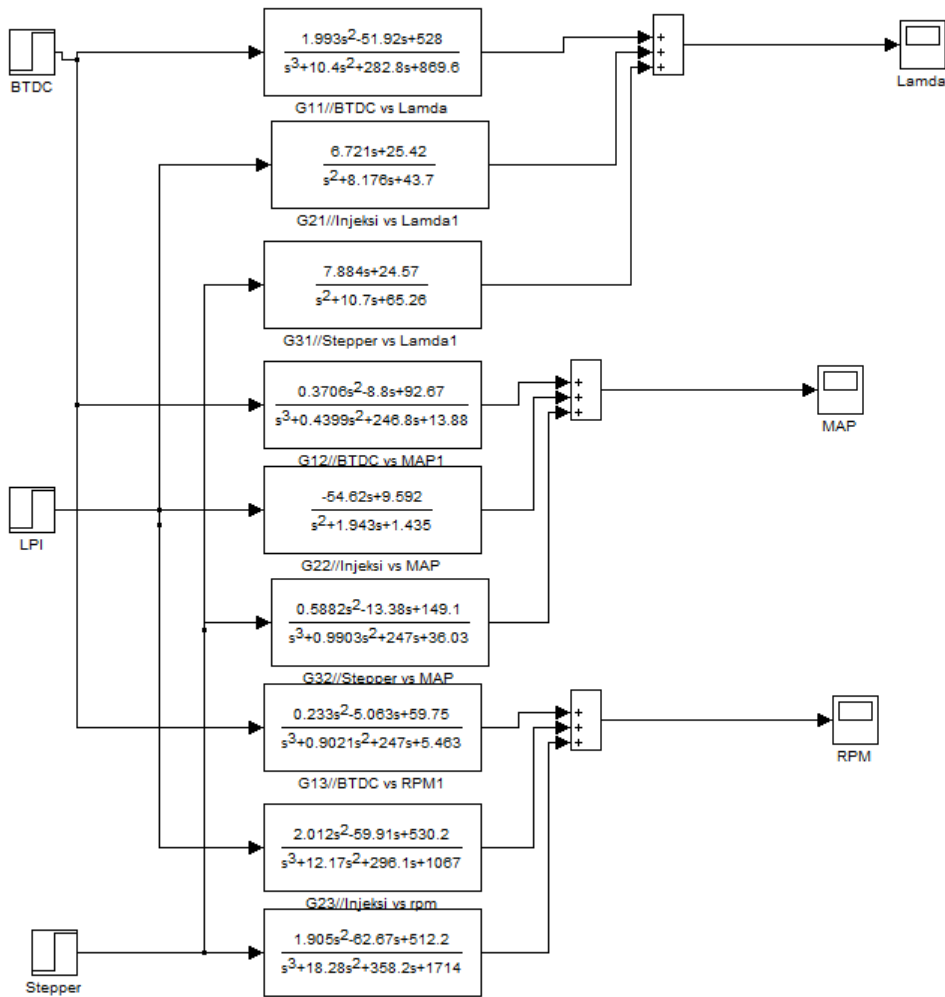
Keluaran	Diskrit	Kontinyu
Lamda	$\frac{0.7696z - 0.335}{z^2 - 0.4478z + 0.1949}$	$\frac{3.798s + 14.36}{s^2 + 8.176s + 43.7}$
MAP	$\frac{0.0089285z + 0.14374}{z^2 - 0.057089z - 0.91904}$	$\frac{0.3773s^2 - 8.522s + 95.76}{s^3 + 0.78s^2 - 246.9s + 15.36}$
Kecepatan	$\frac{0.01832z + 0.4489}{z^2 - 0.02659z - 0.6517}$	$\frac{2.012s^2 - 58.91s + 530.2}{s^3 + 12.17s^2 + 296.1s + 1076}$

Tabel 6. Fungsi Alih Buka-an Stepper terhadap keluaran *plant*

Keluaran	Diskrit	Kontinyu
Lamda	$\frac{0.6422z - 0.3125}{z^2 - 0.2418z + 0.1177}$	$\frac{4.431s + 13.81}{s^2 + 10.7s + 65.26}$
MAP	$\frac{0.01262z + 0.21574}{z^2 - 0.052211z - 0.89259}$	$\frac{0.5711s^2 - 12.99s + 144.8}{s^3 + 0.9903s^2 + 247s + 36.03}$
Kecepatan	$\frac{0.2427z + 0.2427}{z^2 - 0.19z - 0.19}$	$\frac{1.905s^2 - 62.67s + 512.2}{s^3 + 18.28s^2 + 358.2s + 1714}$

Berdasarkan model matematis yang telah disusun pada Tabel 4, 5 dan 6, maka didapatkan model identifikasi multi input multi output model umum mesin Mitsubishi Eterna 4G63 dalam

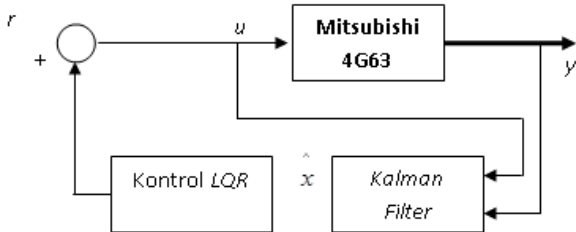
bentuk simulasi tanpa kontroler pada simulink yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Identifikasi Plant Model MIMO

**PERANCANGAN SISTEM**

Perancangan pengaturan *Idle speed* pada mesin Mitsubishi 4G63 dinyatakan dalam bentuk blok diagram seperti pada Gambar 2, dimana fuel atau waktu injeksi F, sudut pengapian A dan bukaan stepper S menjadi masukan dari kontroler sedangkan putaran mesin (N), lambda ( $\lambda$ ) dan *manifold pressure* (P) merupakan keluaran dari kontroler.



Gambar 9. Blok Diagram Perancangan

**Kontrol Robust**

Dengan menggunakan pendekatan LQG/LTR untuk plant Mitsubishi 4G63, dari

model fungsi alih yang diperoleh dilakukan pendekatan orde 1 (satu) dalam perancangan kontrol robust dalam bentuk state space yang memiliki 3 (tiga) masukan dan 3 (tiga) keluaran state.

$$x = Ax + Bu + \Gamma w \tag{3}$$

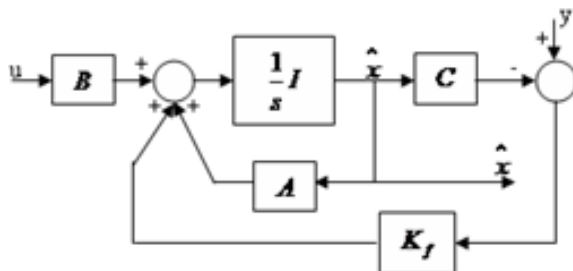
$$y = Cx + v \tag{4}$$

Dimana,  $w$  = masukan noise dan  $v$  = pengukuran noise yang berarti zero mean Gaussian Stochastic yang tidak berkorelasi dalam waktu setelah memiliki kovarian.

Solusi untuk masalah LQG adalah dengan prinsip pemisahan yang menyatakan bahwa hasil yang optimal dicapai dengan mengadopsi prosedur berikut. Pertama, mendapatkan estimasi optimal  $\hat{x}$  dari state  $x$  optimal dalam arti:

$$E \left\{ \begin{pmatrix} x - \hat{x} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} x - \hat{x} \end{pmatrix} \right\} \tag{5}$$

Pada Gambar 10 merupakan solusi untuk masalah bagian pertama yaitu estimasi plant dengan menggunakan *Kalman Filter Theory*. (Chen et al., 2011).



Gambar 10. Kalman Filter

Masukan pada *kalman filter* adalah masukan dan keluaran dari plant,  $u$  dan  $y$  dan state vektor estimasi. Gain matriks *kalman filter*  $K_f$ :

$$K_f = P_f C^T V^{-1} \tag{6}$$

$P_f$  memenuhi persamaan algoritma Riccati:

$$P_f A^T + A P_f - P_f C^T V^{-1} C P_f + \Gamma W \Gamma^T = 0 \tag{7}$$

Dimana :

$$P_f = P_f^T \geq 0$$

Problem dari bagian kedua adalah mencari sinyal kontrol yang dapat meminimalkan (*deterministic cost*).

$$\int_0^\infty (z^T Q z + u^T R u) dt \tag{8}$$

Dengan asumsi bahwa:

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{9}$$

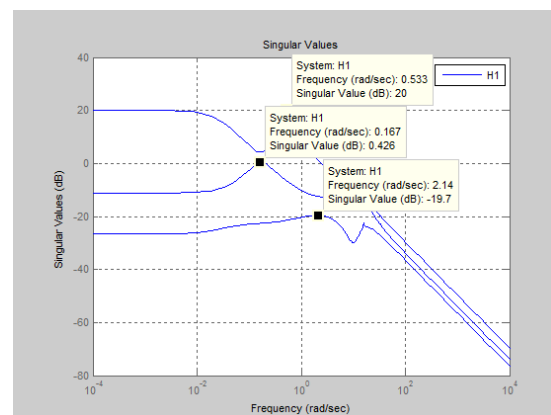
Selanjutnya mendesain *ratio of kalman filter* dan perbaikan di lakukan pada keluaran dari plant. Kemudian memilih matrik yang muncul dari persamaan (4) dan (5), memecahkan persamaan Riccati yang sesuai dengan persamaan (7), dan memperoleh *kalman filter gain*  $K_f$  dari persamaan (6), dapat ditulis menjadi:

$$K_f = LQE(A, \Gamma, C, W, V) \tag{10}$$

yang artinya adalah  $K_f$  diperoleh dari  $\Gamma$ ,  $W$ , dan  $V$ , dengan  $A$  dan  $C$  diambil dari model *plant*. Pada perhitungan awal dipilih nilai  $\Gamma = B$ ,  $W = I_3$ , dan  $V = I_3$ . Pemilihan  $\Gamma = B$  dikarenakan gangguan terjadi pada *plant* masuk melalui input,

dan hal ini memberikan nilai kovarians matriks  $W$  memiliki dimensi yang sama dengan jumlah lup dari pada jumlah state. Dari hasil perhitungan dengan MATLAB diperoleh nilai  $K_{f1}$  dan nilai  $K_{f1}$  memberikan *return ratio*  $-C(sI - A)^{-1} K_{f1}$  yang memiliki *principal gains*:

$$K_{f1} = \begin{bmatrix} 0.0003 & 0.0011 & 0.0087 \\ -0.0003 & -0.0000 & -0.0023 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0002 \\ 0.2092 & -0.1006 & -0.0625 \\ 0.0168 & -0.0288 & 0.0145 \\ 0.1882 & 0.1514 & -0.0540 \\ 0.0084 & 0.0168 & 0.0077 \\ 0.0008 & 0.0007 & 0.0064 \\ 0.0064 & -0.0005 & 0.0854 \\ 0.3214 & -0.8199 & 0.2354 \\ -0.0097 & 0.1530 & -0.0207 \\ 0.2598 & 0.3086 & -0.0230 \\ 0.0039 & 0.0181 & 0.0252 \\ -0.0019 & 0.0042 & -0.0150 \\ -0.0006 & 0.0000 & -0.0099 \\ 0.0003 & 0.0001 & 0.0037 \\ 0.0517 & -0.0086 & 0.0084 \\ 0.0079 & -0.0037 & -0.0092 \\ 0.0007 & -0.0011 & 0.0005 \\ 0.0681 & 0.0193 & 0.0125 \\ 0.0066 & 0.0053 & -0.0051 \\ 0.0003 & 0.0006 & 0.0003 \end{bmatrix}$$



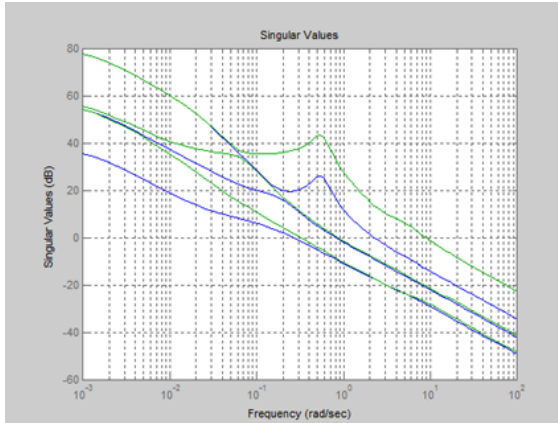
Gambar 11. *Open-loop Principal Gains* Untuk  $K_{f1}$

Pada Gambar 11 dapat dilihat salah satu *principal gain* memiliki kemiringan  $-20\text{dB/decade}$  pada frekuensi sangat rendah dan juga memiliki kenaikan nilai *singular value* pada frekuensi  $-19,7 \text{ rads}^{-1}$ . Akan tetapi, *principal gain* yang lainnya masing-masing memiliki nilai di sekitar  $20 \text{ dB}$  dan  $0,4 \text{ dB}$ . Sebagai perbandingan dihitung nilai  $K_f$  untuk variasi  $W$  dan  $V$  yang lain, yaitu untuk  $W = 0.001I_3$ ,  $V = 0.001I_3$ ,  $W = 9I_3$ , dan  $V = 9I_3$ . Dari variasi nilai ini di peroleh  $K_f$  sebagai berikut:

$$K_{f2} = \text{LQE}(A, B, C, 0.001 * I_3, I_3) \quad \text{dan}$$

$$K_{f3} = \text{LQE}(A, B, C, I_3, 9 * I_3)$$

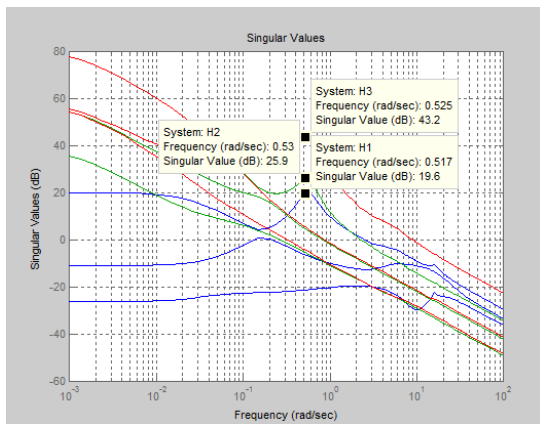
Principal gain dari masing-masing return ratio dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Open-loop Principal Gains Untuk  $K_{f2}$  dan  $K_{f3}$

Kedua nilai  $K_f$  ini memberikan dua return ratio, yaitu  $-C(sI - A)^{-1}K_{f2}$  dan  $-C(sI - A)^{-1}K_{f3}$ , Principal gain dari masing-masing return ratio dapat dilihat. Kedua nilai ini memberikan dua return ratio, yaitu dan Principal gain dari masing-masing return ratio sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 12.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan MATLAB 7.4. Nilai gain  $K_f$  dicari sampai mendapatkan nilai stabilitas dari kalman filter lebih baik dari nilai keluaran dari plant.



Gambar 13. Grafik perbandingan stabilitas kalman filter  $K_{f1}$ ,  $K_{f2}$  dan  $K_{f3}$

Catatan: Note : line Blue= gain  $K_{f1}$ ; line Green = gain  $K_{f2}$ ; line red = gain  $K_{f3}$

Selanjutnya mencari nilai sensitivitas  $S_f$  dan fungsi alih  $T_f$  dengan mengambil nilai terbaik dari kalman filter yang telah ada, dengan

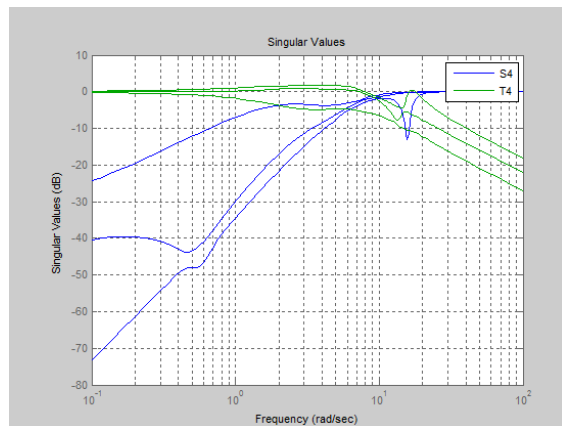
menggunakan persamaan sebagai berikut: (stoica et al, 2008).

$$S_f(s) = [I + C_a(sI - A_a)^{-1}K_{f4}]^{-1} \quad (11)$$

$$T_f(s) = I - S_f(s) \quad (12)$$

Pada Gambar 10 merupakan principal gain dari sensitivity  $S_f$  dan closed-loop transfer function  $T_f$  untuk desain sistem yang paling terakhir Dapat dilihat bahwa masing-masing principal gain saling berdekatan di sekitar nilai omega 5.5 rad  $s^{-1}$ . Bandwidth dari  $T_f$  juga semakin melebar mendekati 10 rad  $s^{-1}$ , walaupun terjadi sedikit peningkatan pada  $\|T_f\|_{\infty}$  yang nilainya menjadi 1.5632 = 3,8804 dB. Keuntungan yang diperoleh dari hasil disain ini adalah nois pengukuran pada daerah frekuensi rendah akan dikuatkan karena nilai  $\sigma_i(T_f) > 1$ .

Gambar 10 menggambarkan principal gain dari open-loop return ratio  $-C_a(sI - A_a)^{-1}K_{f51}$ . Pada Gambar ini dapat dilihat bahwa semua gain telah mampu dipaksa untuk mendekati nilai 0 dB pada omega 10 rad  $s^{-1}$ .



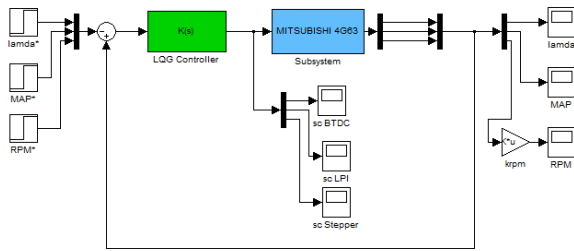
Gambar 14. Principal gain of  $S_f$  dan  $T_f$  menggunakan  $T_{f4}$

### Simulasi Sistem

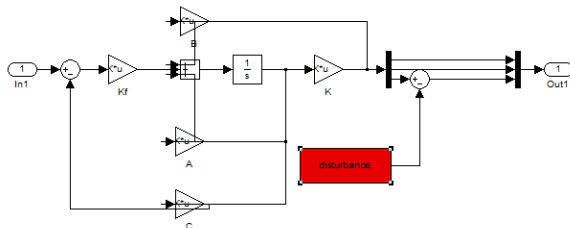
Setelah mendapatkan nilai kompensator  $K(s)$  maka dilanjutkan dengan simulasi sistem yang dilakukan dengan menggunakan model mesin yang merepresentasikan real plant, dimana masukan pada plant merupakan derajat pengapian atau BTDC, lebar pulsa injeksi dan berupa gangguan dari bukaan stepper serta keluaran dalam simulasi adalah putaran mesin dalam rpm dan lamda, dan MAP.

Gambar 15 dan 16 menunjukkan simulasi yang dilakukan menggunakan MATLAB 7.4.0





Gambar 15. Simulasi Plant dengan Kontroler



Gambar 16. Simulasi Kontroler

Pengujian sistem dilakukan dengan melakukan 3(tiga) kondisi pada plant :

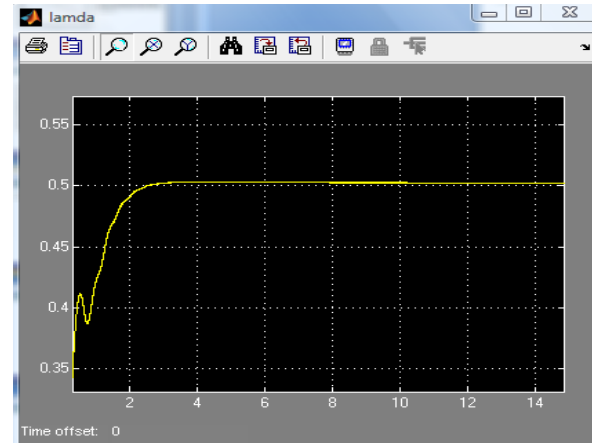
1. Kondisi *plant idle speed* tanpa beban dengan nilai optimal plant yaitu bukaan stepper 20%.
2. Kondisi *plant idle speed* dengan beban atau gangguan lampu yaitu pada kondisi bukaan stepper 40%.
3. Kondisi *plant idle speed* dengan beban atau gangguan AC (Air Conditioning) yaitu pada kondisi bukaan stepper 60%.

### HASIL DAN ANALISA

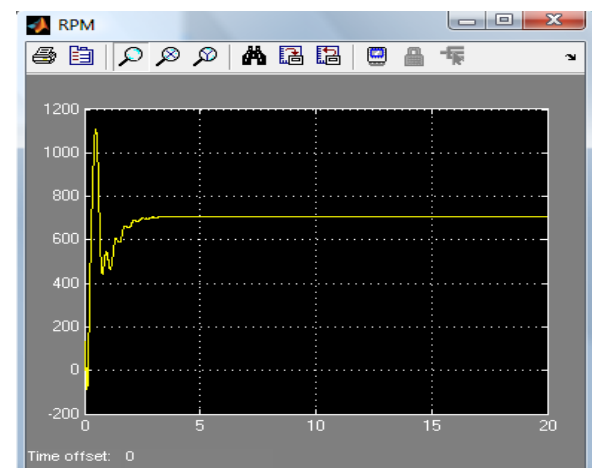
Berikut merupakan grafik hasil dari simulasi mesin dengan menggunakan pengaturan *robust multi input multi output* dengan pengujian tanpa gangguan dan dengan diberi gangguan.

Pada Gambar 17 respon yang terlihat pada keluaran lambda adalah pada saat *starting*, injektor akan menyemprotkan bahan bakar secara simultan, maka pada gambar tampak terjadi overshoot ke nilai lambda kaya bahan bakar sekitar 0.388. Namun setelah 1 detik nilai *lambda* mengikuti nilai referensi yang di berikan.

Berbeda pada Gambar 18 yaitu nilai kecepatan (rpm) jika pada saat awal *overshoot* terjadi, hingga mencapai putaran mesin 1110 rpm. Namun pada 0,3 detik akan turun kembali dan mencari atau akan mengikuti nilai referensi yang diinginkan.

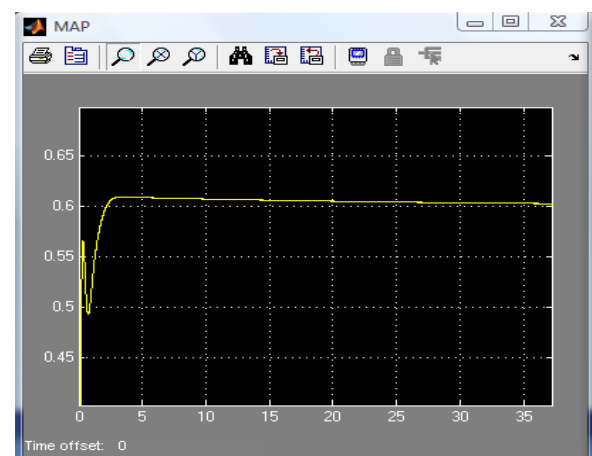


Gambar 17. Grafik Hasil Lambda tanpa Gangguan



Gambar 18. Grafik Hasil RPM tanpa Gangguan

Pada keluaran nilai MAP respon dapat dilihat pada Gambar 19 di mana nilainya berbanding lurus dengan keluaran lambda



Gambar 19. Grafik Hasil MAP tanpa Gangguan

Pengujian simulasi dengan diberi gangguan pada sistem, yang mana gangguan stepper, dimana apabila stepper diputar dalam nilai tertentu, maka kecepatan idle akan mengalami perubahan. Namun dengan adanya pengaturan *idle speed* ini apabila *stepper* diberi gangguan maka kecepatan akan tetap, begitupun nilai  $\lambda$  dan MAP yang dihasilkan. Hasil respon dengan gangguan dapat dilihat pada Gambar 20, Gambar 21 dan Gambar 22.



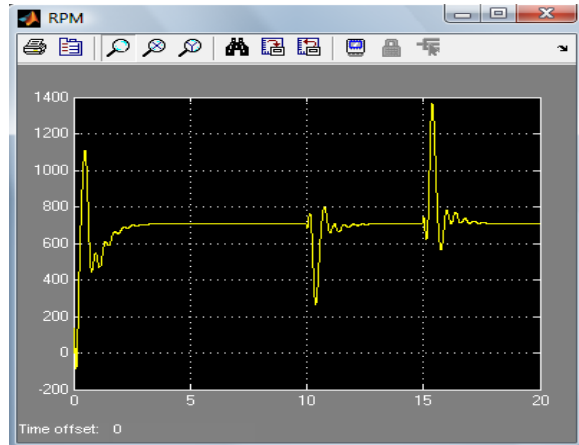
Gambar 20. Grafik Hasil Lambda dengan Gangguan

Gambar 18, grafik hasil lambda dengan adanya gangguan juga terjadi over shoot pada awal mesin. Namun kemudian akan mencari nilai referensi yang diinginkan. Dan setelah diberi gangguan yaitu pada saat nilai bukaan stepper d kecilkan pada nilai 10% atau sama dengan pemakaian listrik sebesar 0.5 volt.

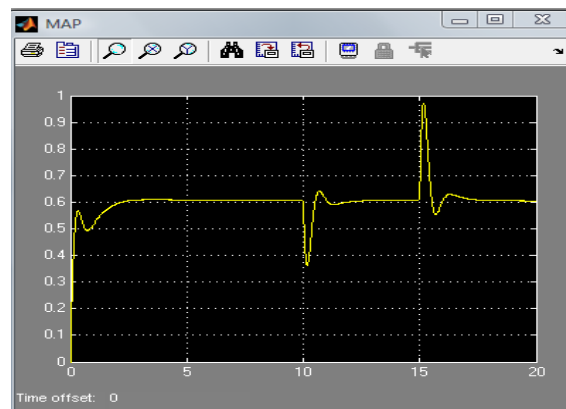
Maka terlihat pada grafik mengalami penurunan namun setelah 0.5 detik akan kembali pada nilai referensi yang diinginkan.

Begitupun pada saat di beri gangguan dengan bukaan stepper lebih besar yaitu 30% atau sama dengan pemakaian listrik 3 volt, maka pada grafik terlihat kenaikan lambda sampai dengan nilai 0.8 volt.

Pengaruh gangguan yang diberikan juga terlihat pengaruh terhadap kecepatan mesin dan nilai MAP yang dihasilkan, grafik hasil dengan gangguan untuk RPM dan MAP dapat dilihat pada Gambar 21 dan 22.



Gambar 21. Grafik RPM dengan Gangguan



Gambar 22. Respon MAP dengan Beban

## KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa simulasi pengaturan Robust MIMO dengan menggunakan metode LQG/LTR dapat dengan baik mengatur idle speed ke referensi yang kita inginkan, dan juga dalam mengatasi gangguan dengan cepat kembali ke keadaan steady state. Selain itu, kecepatan idle yang diinginkan pada kisaran 700rpm dapat tercapai dengan hasil  $\lambda$  yang lebih baik dari sebelum adanya kontrol yang dirancang. Waktu yang dibutuhkan kembali ke kecepatan idle speed ketika kontroler diberi gangguan adalah 2 detik.

## REFERENSI

- Albertoni, Leonardo., Andrea Balluchi, Alessandro Casavola, Claudio Gambelli, Edoardo Mosca, Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli. Idle Speed Control for GDI Engines using Robust Multirate Hybrid Command Governors. *IEEE Conference on Control Application*. 2003; 1: 140-145.
- Chen, Lingshan., Tang Chenxu and Liu Zhilin. Study Robust Control for Engine Idle Speed Based on Structured Singular Value  $\mu$ Theory.

- Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. 2011; 3: 514-517.
- Czarnigowski, Jacek. A neural network model-based observer for idle speed control of ignition in SI engine. *Engineering Application of Artificial Intelligence*. 2010; 23 (1): 1-7.
- Hrovat, D. and J. Sun. Models and control methodologies for IC engine idle speed control design. *Control Engineering Practice*. 1997; 5 (8): 1093-1110.
- Hsieh, Feng-Chi., Bo-Chiuan Chen, and Yuh-Yih Wu. Adaptive Idle Speed Control For Spark-Ignition Engines. *SAE Technical Paper*. 2007; 1-10.
- Stoica, Cristina., Pedro Rodríguez Ayerbe, Didier Dumur. MIMOOptMPC: A Matlab toolbof for *off-line Robustification of Multivariable*. International Conference on Computer Aided Control System. 2008: 1259-1264.
- Wahid, A., dan Hambali, W. A. Multi-Loop Control Design in Multivariable (2X2) Continuous Stirred Tank Reactor. *SINERGI*. 2015; 19 (2): 67-76.
- Wong, P K., L M Tam, K Li, and C M Vong. Engine idle-speed system modelling and control optimization using artificial intelligence. *Journal of Automobile Engineering*. 2010; 224: 55-72.
- Wu, Zhi-Hu., Shang Liu, Run Pei. Robust Model Predictive Control of Engine Idle Speed With Disturbance Observer. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. 2008: 2109-2114.