

OPTIMASI COMMON MODE REJECTION RATIO (CMRR) PADA PENGUAT INSTRUMENTASI

Ahmad Rahimi¹, Iwan Sugriwan², dan Tetti Novalina Manik²

Abstrak: *Operational Amplifier* (penguat operasional) merupakan rangkaian penguat yang sering ada dalam rangkaian sistem sensor. Sinyal keluaran dari sensor biasanya sangat kecil sehingga perlu penguatan untuk dapat terbaca pada rangkaian selanjutnya. Sifat penguatan tidak hanya menguatkan sinyal asli pengukuran, tetapi juga sinyal noise dari rangkaian sistem sensor. Untuk mendapatkan sinyal asli diperlukan rangkaian penguat yang bisa menolak sinyal noise tersebut. Penelitian ini melakukan optimasi. *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) pada penguat instrumentasi dengan cara memilih nilai kombinasi tahanan. Software yang digunakan sebagai tampilan antarmuka adalah *Graphical User Interface* (GUI) MATLAB R2008. Hasil running program, diperoleh CMRR optimum dengan nilai $8,90077 \cdot 10^5$ ditentukan oleh konfigurasi R_G 13074 Ω , R_1 dan R_2 adalah 630 K Ω , menghasilkan penguatan sebesar 97,3745 kali dan desibelnya 118,9886. Nilai optimum CMRR dengan *Integrate Circuit* (IC) penguat operasional OP07 bernilai $8,90077 \cdot 10^5$, sedangkan LM725 bernilai $1,54562 \cdot 10^5$, dan LM741 bernilai $0,47732 \cdot 10^5$. Dengan mengoptimalkan kinerja fitur CMRR, maka kerja penguat instrumentasi akan lebih maksimal.

Kata Kunci: CMRR, noise, Operational Amplifier, optimasi

PENDAHULUAN

Sensor merupakan alat elektronika yang berfungsi untuk mengindera/merasakan suatu besaran fisis didekatnya seperti suhu, tekanan, arus, dan pergerakan. Besaran-besaran tersebut kemudian dikonversi menjadi keluaran berupa tegangan dan selanjutnya akan menjadi masukan pada pengkondisian sinyal. Keluaran sensor biasanya sangat kecil sehingga sulit terbaca untuk rangkaian selanjutnya sehingga diperlukan penguat operasional untuk menguatkan sinyal keluaran sensor tersebut. Penguat operasional

(Operational Amplifier) tidak hanya berfungsi sebagai penguat, tetapi juga sebagai penyaring/*filter*, osilator dan pembangkit sinyal.(Malvino, 1991). Penguat operasional terbagi dalam beberapa konfigurasi yaitu sebagai penguat *inverting*, *non-inverting*, penjumlah (*adder*), pembanding (*comparator*), integral (*integrator*), diferensial (*differensiator*), *buffer*, dan penguat instrumentasi.

Common Mode Rejection Ratio (CMRR) adalah sifat yang berkaitan dengan penguat *differensial*. Jika tegangan-tegangan yang sama fasanya diumpankan ke dalam

¹Mahasiswa dan ²Staff Pengajar Program Studi Fisika FMIPA UNLAM

masuk penguat, maka keluarannya akan nol, sehingga hanya perbedaan tegangan masukan yang akan menghasilkan keluaran. Kemampuan suatu penguat operasional untuk menguatkan sinyal *differensial* sambil menolak sinyal dengan modus bersama disebut *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) (Malvino, 1991).

Besarnya CMRR berbanding lurus pada nilai penguatan differensial (DG) dan berbanding terbalik dengan penguatan modus bersamanya (CMG). Nilai penguatan differensial ditentukan oleh nilai beberapa nilai tahanannya. Semakin besar nilai CMRR, semakin baik tingkat penolakannya. Proses untuk mendapatkan kondisi nilai minimum dan nilai maksimum suatu fungsi dinamakan dengan optimasi. Tujuan optimasi ini salah satunya adalah memperkecil nilai syarat kebutuhan, dan memaksimalkan nilai manfaat yang dihasilkan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian tentang optimasi CMRR (Terrel, 1996).

Penelitian ini membuat modul perangkat lunak untuk mencari nilai optimum dari CMRR pada rangkaian penguat instrumentasi menggunakan perangkat MATLAB R2008. Dengan mencari kombinasi nilai tahanan dan

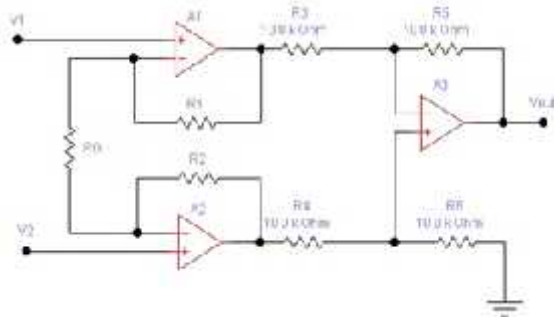
tegangan *common mode*-nya yang memenuhi syarat kendala akan diperoleh nilai optimasi CMRR, sehingga memaksimalkan kinerja fitur CMRR pada penguat instrumentasi. Nilai CMRR merupakan nilai penting dalam penolakan sinyal, semakin besar nilai tersebut semakin bagus pula penolakannya terhadap sinyal. Namun untuk mendapatkan nilai CMRR yang paling baik dalam penguat instrumentasi perlu melakukan ketelitian dalam pemilihan komponen-komponen elektronika dari penguat instrumentasi tersebut. Penelitian ini memberikan solusi agar nilai CMRR dalam penguat instrumentasi bernilai optimum dengan cara membuat modul perangkat lunak menggunakan *Matrix Laboratory* (MATLAB) R2008 untuk mendapatkan nilai CMRR yang optimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi pada dasarnya adalah penguat differensial dengan penguatan tinggi yang dikompensasi untuk meminimalkan karakteristik nonideal. Secara khusus, penguat differensial memiliki CMRR yang sangat tinggi, yang berarti bahwa sinyal tegangan yang muncul pada kedua terminal masukan pada

dasarnya diabaikan dan keluaran penguat hanya merespon sinyal masukan diferensial (Terrel, 1996).



Gambar 1. Rangkaian *Instrumentation Amplifier* (Terrel, 1996).

Secara umum, penguat instrumentasi dirancang untuk mencapai tegangan *offset* dan *drifts* minimal, penguatan stabil, ketidaklinieran sangat rendah, impedansi masukan sangat tinggi, impedansi keluaran sangat rendah dan modulus penolakan bersama sangat tinggi.

Jika kedua sinyal masukan dari penguat operasional bernilai sama, maka masukan penguat diferensial tidak berpengaruh sehingga tegangan keluarannya juga tidak berpengaruh. Namun pada kenyataannya perubahan tegangan *common mode* akan menghasilkan perubahan pada tegangan keluaran. *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR) penguat operasional merupakan perbandingan penguatan *common mode* (CMG) terhadap penguatan diferensial (DG) yang dirumuskan dengan persamaan 1. Nilai penguatan diferensial diperoleh

dari persamaan 2 yaitu jumlah kedua resistor *feedback* (R_1 dan R_2) dengan resistor ground (R_G) dibagi besar resistor ground:

$$CMRR = \frac{DG}{CMG} \quad (1)$$

$$DG = \frac{R_G + R_1 + R_2}{R_G} \quad (2)$$

Penguatan *common-mode* adalah tegangan (V_{CM}) yang dibangkitkan karena adanya tegangan *offset*. Sehingga CMRR dapat dituliskan

$$CMRR = \frac{R_g + R_1 + R_2}{V_{CM} R_g} \quad (3)$$

(Tompkins, 1988).

CMRR dapat diukur dengan beberapa cara, salah satunya dengan menggunakan empat buah hambatan presisi untuk mengkonfigurasi penguat operasional sebagai penguat diferensial. Ketidaksesuaian sebesar 0,1% antar hambatan akan menghasilkan rasio hanya 68 dB, tak peduli seberapa bagus penguat operasional tersebut, karena kebanyakan penguat operasional memiliki frekuensi penolakan antara 80 dB sampai 120 dB (Jung, 2006).

Kinerja CMRR pada frekuensi rendah sering dijumpai sedangkan pada frekuensi tinggi kinerja ini mulai tidak stabil karena adanya tegangan *common mode* (Klein, 2009).

Optimasi Menggunakan Banyak Variabel Dengan Pertidaksamaan Kendala

Optimasi merupakan penetapan keputusan untuk memperoleh hasil terbaik menurut kondisi. Sasaran akhir yang akan dicapai dari semua keputusan adalah meminimalkan usaha yang dibutuhkan atau memaksimalkan keuntungan. Usaha atau keuntungan dalam situasi yang praktis dapat diekspresikan sebagai fungsi dari harga variabel keputusan.

Optimasi didefinisikan sebagai proses mendapatkan kondisi yang memberikan nilai minimum dan nilai maksimum dari suatu fungsi (Rao, 1984). Fungsi yang akan dioptimasi atau dicari nilai minimum dan maksimumnya dinamakan fungsi objektif. Dalam hal ini fungsi objektif adalah fungsi CMRR pada persamaan (3). Variabel yang digunakan adalah R_G , R_1 , R_2 , dan V_{CM} . Fungsi kendala adalah fungsi pembatas atau syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan nilai optimum. Fungsi kendala yang digunakan dalam hal ini adalah penguatan (A), frekuensi penolakan (dB), dan batas maksimum V_{CM} , yang dirumuskan pada persamaan (4), (5), dan (6).

$$A_{videal} = \frac{1+(R_1+R_2)}{R_g} \quad (4)$$

$$dB = 20 \log \frac{R_g+R_1+R_2}{V_{cm}R_g} \quad (5)$$

$$V_{CM} \leq V_{CMmax} \quad (6)$$

Dalam menyelesaikan optimasi menggunakan banyak variabel dengan pertidaksamaan kendala harus memenuhi kondisi Kuhn-Tucker. Kondisi ini harus memenuhi pada nilai minimum relatif dari $f(x)$. Walaupun secara umum tidak cukup untuk menjamin minimum relatif, namun ada masalah, yang disebut masalah pemrograman cembung, yang kondisi Kuhn-Tucker cukup diperlukan untuk menemukan nilai minimum global.

Jika kumpulan kendala aktif tidak diketahui, kondisi Kuhn-Tucker dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{j \in I_1} \lambda_j \frac{\partial g_j}{\partial x_i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \lambda_j g_j &= 0^7, \quad j = 1, 2, \dots, m. \\ g_j &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \\ \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (7)$$

(Rao,1984).

Graphic User Interface (GUI) MATLAB

Istilah *Graphical User Interface* (GUI) pada dasarnya adalah media tampilan grafis sebagai pengganti perintah teks untuk user berinteraksi. GUI menggunakan tombol-tombol yang hanya ditekan untuk menjalankan program. Untuk keperluan pemrograman *window*, MATLAB telah

menyediakan komponen-komponen standar seperti *pushbutton*, *edit*, *text*, *combo*, *checkbox* dan lain-lain untuk digunakan. Sebelum menggunakan komponen-komponen tersebut dengan benar, sebaiknya terlebih dahulu harus memahami konsep Pemrograman Berbasis Objek (PBO) di MATLAB. Pada PBO, setiap komponen diartikan sebagai objek yang dapat diberikan pekerjaan maupun melakukan pekerjaan tertentu. Selain itu setiap objek dalam PBO pasti memiliki properti untuk berinteraksi dengan objek lainnya (Gunaidi, 2006).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini memiliki 4 tahapan yaitu menentukan parameter penguat instrumentasi, menentukan fungsi kendala, membuat modul perangkat lunak, dan implementasi hasil running program pada penguat instrumentasi.

Menentukan Parameter Penguat Instrumentasi

Pada Rangkaian Penguat Instrumentasi, memiliki komponen tahanan R_G , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , dan R_6 . Dengan menganalisa rangkaian tersebut, maka ditentukan kombinasi

nilai R_G , R_1 , dan R_2 , serta tegangan *common mode* untuk mendapatkan nilai CMRR yang optimum.

Persamaan yang akan dicari nilai maksimumnya yaitu persamaan (3) dengan variabel R_G , R_1 , dan R_2 , dan V_{CM} .

Menentukan Fungsi Kendala.

Fungsi kendala ditentukan oleh berapa besar penguatan (A) yang diinginkan, besar frekuensi penolakan (dB), dan batas maksimum tegangan *common mode*, dapat dilihat pada persamaan (4), (5) dan (6). Untuk memenuhi kondisi Kuhn-Tucker pada persamaan (7), masing-masing fungsi objektif, dan fungsi kendala diturunkan terhadap masing-masing variabel. Kemudian hasil dari substitusi persamaan-persamaan tersebut diperoleh nilai pengali Lagrange (λ_j). Akhirnya diperoleh persamaan-persamaan optimasi fungsi objektif dan kendala yang memenuhi kondisi masing-masing variabel, seperti pada persamaan (8), (9), (10), dan (11). Persamaan ini yang digunakan dalam modul perangkat lunak untuk mendapatkan nilai CMRR yang optimum.

$$-\frac{R_1+R_2}{R_G^2 V_{CM}} - 5.10^{-3} \frac{R_1+R_2}{R_G^2} - 158.1138 \frac{20(R_1+R_2)}{R_G(R_G+R_1+R_2)} = 0 \quad (8)$$

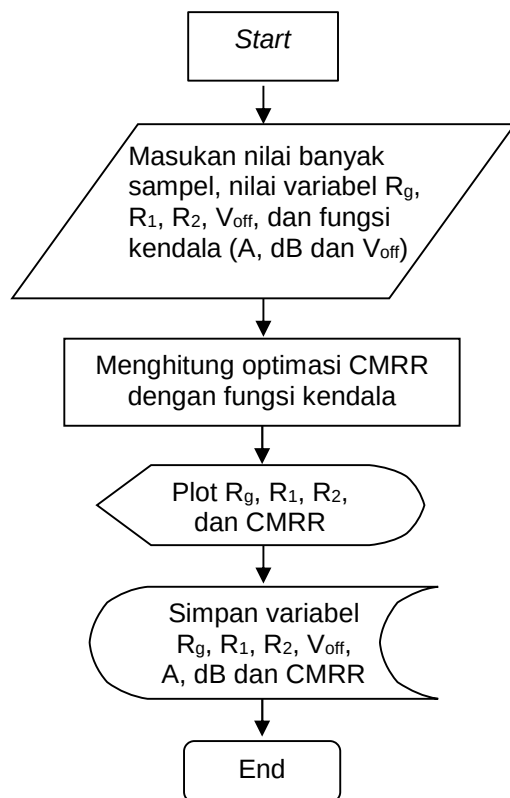
$$\frac{1}{R_g V_{cm}} 5 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{R_g} + 158.1138 \frac{20}{(R_g + R_1 + R_2)} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{1}{R_g V_{cm}} 5 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{R_g} + 158.1138 \frac{20}{(R_g + R_1 + R_2)} = 0 \quad (10)$$

$$- \frac{R_g + R_1 + R_2}{R_g V_{cm}} - 158.1138 \frac{20}{V_{cm}} = 0 \quad (11)$$

Membuat Modul Perangkat Lunak.

Pembuatan modul perangkat lunak menggunakan *Graphic User Interface* (GUI) MATLAB R2008. Flowchart program ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart program

Implementasi Hasil *Running* Program

Hasil *running* berupa kombinasi nilai hambatan, V_{off} , dan CMRR. Nilai

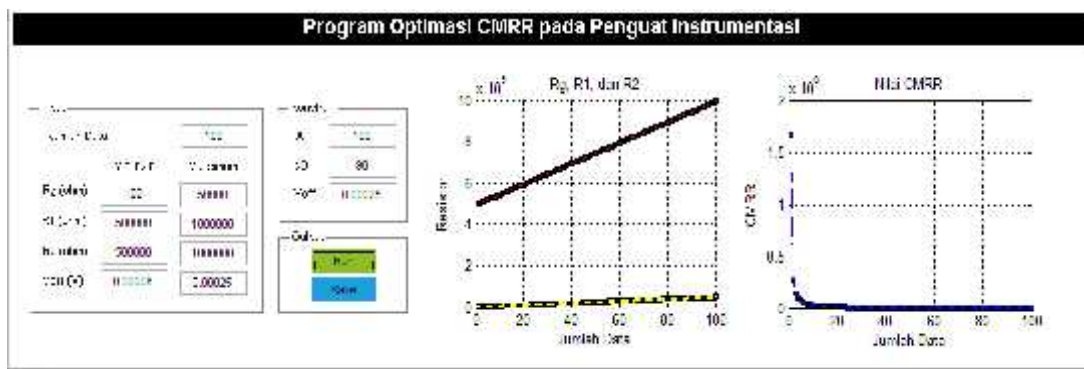
kombinasi hambatan tersebut akan diimplementasikan pada rangkaian penguat instrumentasi. Penguat instrumentasi dibuat menggunakan tiga penguat operasional, menggunakan jenis OP-07, dan tujuh buah resistor. Dua penguat operasional dirancang sebagai penguat non-inverting, sedangkan penguat operasional ketiga sebagai penguat diferensial. Rangkaian ini mempunyai dua kaki masukan dan satu keluaran (Gambar 1). Nilai R_G , R_1 dan R_2 dipasang menggunakan tiga buah *multitone*, sehingga nilai tahanannya bisa diubah-ubah. Nilai R_3 , R_4 , R_5 , R_6 , dan $R_7 = 100 \text{ K}\Omega$. Tiga buah *multitone* yang dipasang masing-masing bernilai $1 \text{ M}\Omega$, nilainya bisa diubah sesuai data hasil running program optimasi untuk mendapatkan nilai CMRR yang optimum. Nilai tahanan yang menghasilkan nilai CMRR yang optimum akan diterapkan pada rangkaian penguat instrumentasi. Sinyal masukan sensor dan tegangan keluaran penguat instrumentasi diukur dengan voltmeter untuk mengetahui

penguatan yang diinginkan dibandingkan terhadap data, apakah nilai kombinasi tahanan tersebut telah memenuhi syarat kendala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pemisalan data yang dilakukan, yaitu 100 data, dibuat kombinasi tahanan untuk membuat penguat instrumentasi. Nilai rentang

R_G 100 Ω – 50 K Ω , R_1 dan R_2 adalah 500 K Ω hingga 1 M Ω . Tegangan *offset* masukannya diberikan oleh *datasheet* minimal 60 μ V dan maksimalnya 250 μ V. Jika penguatan yang diinginkan adalah 100 kali dan frekuensi yang ditolak minimal 90 dB, maka hasil *running* program sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



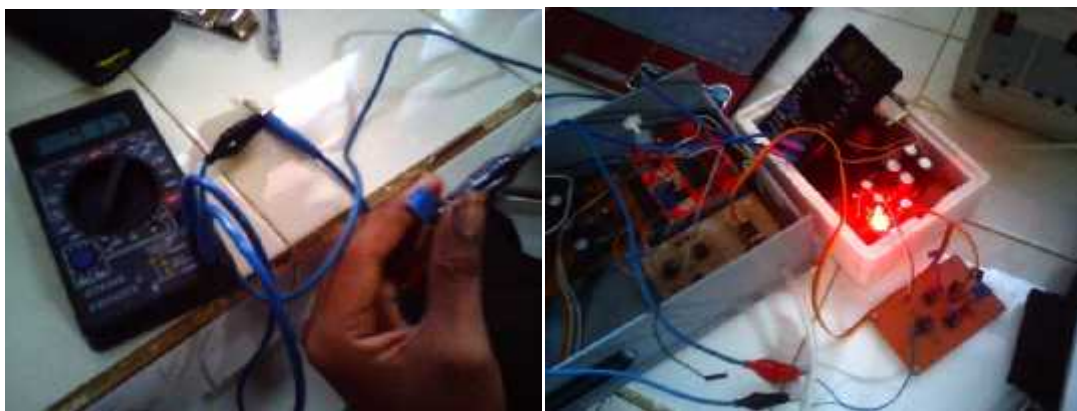
Gambar 3. Tampilan hasil *running* program dengan nilai resistor 100 Ω - 1M Ω

Dengan menggunakan OP07, batas penguatan yang diinginkan adalah kurang 100 kali dan nilai desibel diatas 90 dB. Nilai-nilai tahanan yang mendekati syarat tersebut yaitu nilai R_G yang dihasilkan berkisar antara (13,074–14,072) k Ω , dan nilai R_1 dan R_2 berkisar antara (630–640) K Ω . Namun nilai tahanan yang optimum adalah R_G 13,074 k Ω , R_1 dan R_2 adalah 630 K Ω , menghasilkan penguatan sebesar 97,3745 kali dan 118,9886 dB. Masing-masing jenis penguat operasional memiliki nilai CMRR

optimum yang berbeda yang disebabkan oleh perbedaan tegangan *offset* masing-masing penguat operasional, pada OP07 bernilai $8,90077 \cdot 10^5$, sedangkan LM725 bernilai $1,54562 \cdot 10^5$, dan LM741 bernilai $0,47732 \cdot 10^5$. Tegangan *offset* menentukan nilai CMRR pada setiap penguat operasional yang digunakan. Semakin besar nilai tegangan *offset*, maka nilai CMRR akan semakin kecil, karena semakin besar tegangan *offset* menghasilkan ketidaklinieran pada penguatan penguat operasional itu

sendiri, sehingga pada penguatan yang besar, tegangan keluaran penguat operasional tidak linier. Setelah mendapatkan kombinasi nilai tahanan yang optimal, nilai tersebut selanjutnya diimplementasikan pada rangkaian penguat instrumentasi pada Gambar 4. Nilai tahanan R_G , R_1 , dan R_2 diganti dengan *multitone* untuk mengubah-

ubah nilai tahanan, sehingga nilainya dapat disesuaikan dengan nilai tahanan optimum. Sebagai sinyal masukan digunakan sensor MPX2100GP yang dihubungkan pada kaki masukan penguat instrumentasi, sedangkan pada masukan dan keluarannya dipasang voltmeter untuk mengetahui besar penguatan.



Gambar 4. Implementasi pada penguat instrumentasi

KESIMPULAN

Modul perangkat lunak optimasi CMRR pada penguat instrumentasi dapat menentukan nilai CMRR yang optimum. Nilai tersebut ditentukan oleh variabel R_G , R_1 , R_2 , dan V_{CM} yang nilainya diberikan oleh modul perangkat lunak dengan fungsi kendala berupa penguatan, frekuensi penolakan, dan batas maksimum V_{CM} yang diinputkan. Semakin kecil V_{off} maka semakin kecil ketidaklinieran yang diperoleh pada kesalahan penguatan atau *gain error*.

Dalam hal ini persentase *gain error* yang dihasilkan adalah 1%.

DAFTAR PUSTAKA

- Away, Gunaidi A., 2006, *Matrix Laboratory (MATLAB) Programming*, Informatika, Bandung.
- Jung, Walter G., 2006, *Op Amp Application Handbook*, Analog Devices, USA
- Klein, Wm. P., 2009, *Improve Instrument Amplifier Performance with X2Y® Optimized Input Filter*, Johansson Dielectrics, Inc.

Rao, S.S., 1984, Optimization: Theory and Application (Second Edition), New Age International (P) Limited, New Delhi.

Troubleshooting (Second Edition), Elsevier Science, United States of America.

Terrel, David L., 1996, OP AMP: Design, Application, and

Tompkins, W.J., 1988, Interfacing Sensors to The IBM PC. PTR Prenfice Hall. New Jersey.