

APLIKASI OPTIMISASI KOLONI SEMUT PADA DOMAIN KONTINU UNTUK PENENTUAN PARAMETER PID DALAM KONTROL KECEPATAN MOTOR ARUS SEARAH

Mesrika Purba^{*)}, Susatyo Handoko, and Mochammad Facta,

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: mesrikapurba@gmail.com

Abstrak

Motor Direct Current (DC) digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang industri. Proportional, Integral, Derivatif (PID) kontroler paling sering digunakan dalam kendali kecepatan motor DC, kontroler ini sangat tergantung pada nilai parameter K_p , K_i , dan K_d dalam menghasilkan performa yang diinginkan. Ada beberapa metode konvensional untuk menentukan nilai parameter PID seperti Ziegler-Nichols (Z-N) dan metode Cohen-Coon (C-C), namun respon sistem yang dihasilkan sering kali belum seperti yang diharapkan. Ada metode lain berbasis algoritma kecerdasan buatan yang bisa digunakan untuk mengatur parameter PID salah satunya adalah algoritma Ant Colony Optimization for Continuous Domain (ACO_R). Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini dibuat simulasi penerapan algoritma ACO_R untuk menentukan optimal parameter PID dalam kendali kecepatan motor DC. Tolak ukur keberhasilan optimisasi ini mengacu pada nilai fungsi tujuan yaitu Integral of Time Multiplied by Absolute Error (ITAE). Sistem juga diuji dengan diberikan perubahan beban pada selang waktu tertentu. Berdasarkan hasil percobaan nilai parameter PID yang didapatkan dengan metode ACO_R lebih baik dari pada metode Z-N dan C-C yaitu mampu menurunkan nilai rata-rata waktu naik sebesar 0,96 s, waktu tunda 0,33 s, waktu penetapan 6,5s dan lewatan maksimum sebesar 100%. Hal ini berlaku juga saat diberikan penambahan beban pada selang waktu tertentu.

Kata kunci : Motor DC, PID kontroler, Ant Colony Optimization (for Continuous Domain), metode Ziegler-Nichols, metode Cohen-Coon.

Abstract

Motor Direct Current (DC) have various applications in the industrial field. Proportional, integral, derivative (PID) controller is used most often in DC motor speed control, this controller is highly dependent on parameter values K_p , K_i and K_d to produce the desired performance. There are several conventional methods for determining the value of PID parameters such as Ziegler-Nichols (Z-N) and Cohen-Coon (C-C) methods, but the resulting system response is often not as expected. There are other methods based on artificial intelligence algorithms that can be used to set the PID parameters one of which is the Ant Colony Optimization algorithm for Continuous Domain (ACO_R). Based on this research it created a simulation application ACO_R algorithm to determine the optimal parameters of PID. Measure of success of this optimization refers to the value of the objective function, Integral of Time Multiplied by Absolute Error (ITAE). The system was also tested with a given load changes at specified intervals. Based on the experimental results PID parameter values obtained by $ACOR$ method is better than Z-N and C-C methods that decreased the value of rise time of 0,96 s, delay time 0,33 s, settling time 6,5 s and maximum overshoot of 100%. This applies also when given additional load at specified intervals.

Keywords: Motor DC, PID controller, Ant Colony Optimization (for Continuous Domain), Ziegler- Nichols method, Cohen-Coon method

1. Pendahuluan

Motor DC telah lama digunakan pada bidang industri dan robotika. Kelebihan motor DC dibandingkan motor AC adalah mudah dalam pengaturan kecepatan dan

strukturnya sederhana [1]. Pengendali yang umum digunakan untuk kendali kecepatan motor DC adalah PID (proporsional, derivatif, integral), dan beberapa metode yang sering digunakan dalam penentuan nilai parameter kontrol PID yaitu metode Ziegler Nichols [2], maupun

dengan metode Cohen-Coon. Kedua metode konvensional ini memiliki kemampuan penekan gangguan (*disturbance rejection*) yang cukup baik, tetapi menghasilkan persen *overshoot* dan isyarat kendali (*control signal*) yang cenderung besar, yang dapat menyebabkan aktuator mengalami saturasi [3].

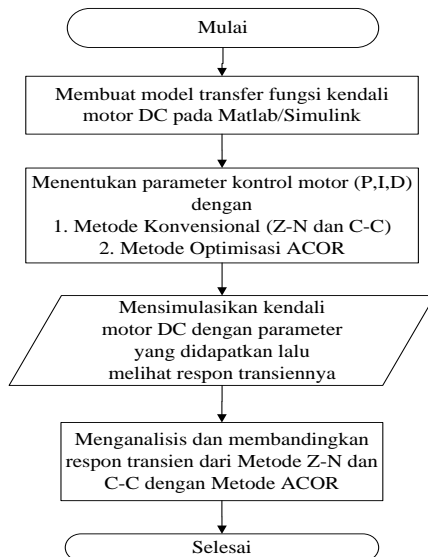
Berdasar latar belakang permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu metode untuk menentukan nilai parameter Pengendali PID untuk optimasi kendali motor DC yang berkaitan dengan lewat maksimum, waktu tunda, dan waktu naik yang minimum dan memiliki tanggapan keluaran dengan kinerja yang cukup baik dan stabil pada keadaan transien[4].

Pada penelitian ini mengaplikasikan salah satu metode metaheuristik *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)* [5] untuk menentukan nilai parameter kontrol PID yang digunakan sebagai kendali motor DC dengan menggunakan software Matlab2014a. Nilai parameter yang didapatkan dari proses optimisasi diharapkan dapat memperbaiki performa Kendali motor DC sehingga dapat meminimalkan *overshoot* dan memperbaiki respon sistem. Metode yang diusulkan akan dibandingkan dengan metode konvensional Ziegler Nichols dan Cohen-Coon [7].

2. Metode

2.1. Perancangan Sistem

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

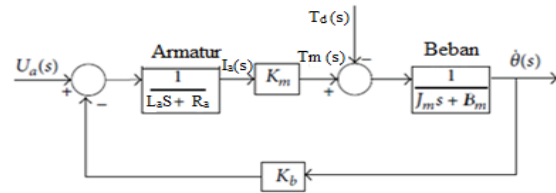


Gambar 1 Diagram Alir Perancangan Sistem

2.2. Perancangan model motor DC

Motor yang digunakan yaitu motor arus searah penguat terpisah. Model motor DC beserta parameter motor yang dijadikan referensi adalah model motor dari penelitian

terdahulu [3] seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 1 berikut.



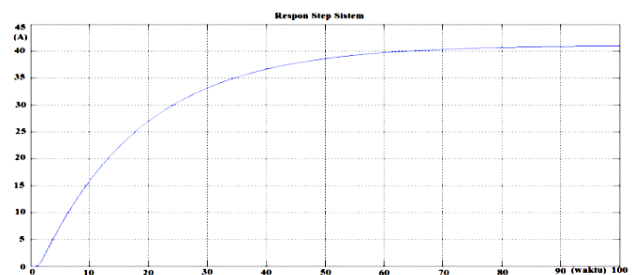
Gambar 2. Model motor DC[3]

Motor arus searah yang ditampilkan pada Gambar 2 akan di jalankan dengan nilai parameter pada Tabel 1

Tabel 1 Parameter motor DC [3]

| Parameter Motor | Nilai |
|-----------------|-----------------------------------|
| R _a | 1,0 Ω |
| L _a | 0,5 H |
| J | 0,01 Kg ^m ² |
| B _m | 0,00003 N·m |
| K _m | 0,023Nm/A |
| K _b | 0,023 Vs/rad |

Model diagram blok motor DC yang telah dibuat seperti pada Gambar 2 disimulasikan dan akan didapatkan kurva keluaran respon step lup terbuka seperti yang tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Respon step lup terbuka motor DC

Pada Gambar 3 terlihat parameter respon sistem lup terbuka dari motor DC seperti yang disajikan pada Tabel 2.

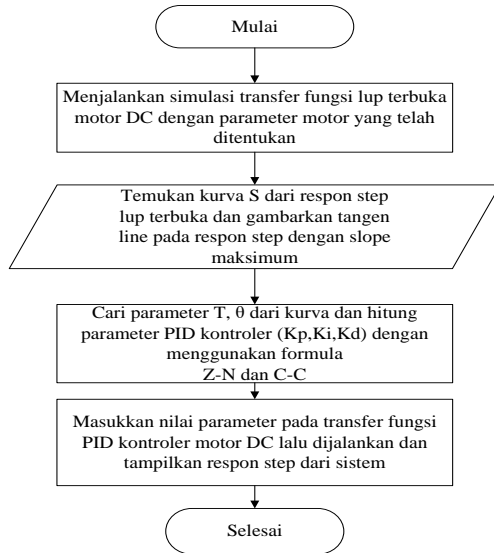
Tabel 2. Respon keluaran lup terbuka motor DC

| Respon | Nilai |
|-----------------|-----------|
| t _s | 68,6029 s |
| t _r | 38,2458 s |
| M _p | 0 % |
| e _{ss} | 0,0237 |

Nilai amplitudo keluaran mulai steady pada 40 sehingga masih belum sesuai dengan nilai masukan step yang diberikan yaitu bernilai 1 dengan waktu naik dan waktu tunda yang masih cukup besar yaitu 38,24s dan 68,6 s.

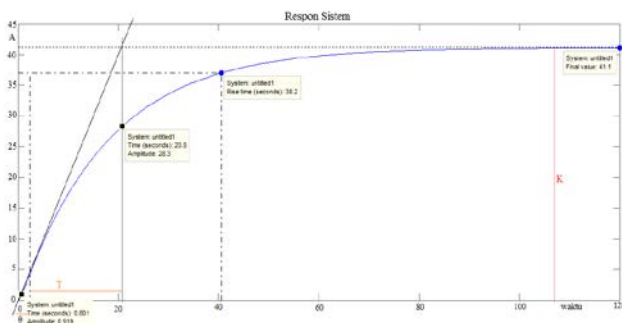
2.3. Perancangan Metode Konvensional

Metode konvensional penentuan parameter PID kontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Ziegler-Nichols 1 dan metode Cohen-Coon. Untuk menentukan nilai parameter kontrol PID dengan metode Z-N dan C-C memiliki beberapa tahapan, Gambar 4 akan menunjukkan diagram alir tahapan kedua metode konvensional ini.



Gambar 4. Diagram alir metode tuning konvensional Z-N dan C-C

Untuk menentukan nilai parameter PID adalah hal penting untuk menemukan nilai parameter T dan θ yang akan digunakan pada metode Z-N dan C-C. Kedua nilai parameter ini diperoleh dengan menggambar garis singgung pada kurva respon lup terbuka sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Respon lup terbuka tangensial

Dari Gambar 5 didapatkan nilai dari waktu tunda (θ) yaitu sebesar 0,919 s dan konstanta waktu proses (T) sebesar 27,38 s. Berdasarkan formula Ziegler-Nichols parameter kontrol PID dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$K_p = 1,2 \frac{T}{K\theta},$$

$$= 1,2 \frac{27,381}{41,1 \cdot 0,919} = 0,86 \quad (1)$$

$$T_i = 2 \theta,$$

$$= 2 \cdot 0,919 = 1,838 \quad (2)$$

$$T_d = 0,5 \theta$$

$$= 0,5 \cdot 0,627 = 0,3135, \quad (3)$$

Dimana,

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$= \frac{0,86}{1,838} = 0,47,$$

$$K_d = T_d \cdot K_p$$

$$= 0,4595 \cdot 0,86 = 0,39 \quad (4)$$

Cohen-Coon juga mengusulkan suatu metode lup terbuka untuk menentukan parameter kontrol PID, Sama seperti metode Z-N, berdasarkan formula C-C setelah mendapatkan nilai T= 27,38, θ= 0,919, dan K= 41,14 maka nilai parameter kontrol PID dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$K_p = \frac{T}{K\theta} \left[\frac{4}{3} + \frac{\theta}{4T} \right]$$

$$= \frac{27,381}{41,14 \cdot 0,919} \left[\frac{4}{3} + \frac{0,919}{4 \cdot 27,381} \right]$$

$$= 0,968 \quad (5)$$

$$T_i = \theta \left[\frac{32}{13} + \frac{6\theta/T}{8\theta/T} \right]$$

$$= 0,919 \left[\frac{32}{13} + \frac{6 \cdot 0,919/27,381}{8 \cdot 0,919/27,381} \right]$$

$$= 2,94 \quad (6)$$

$$T_d = \theta \left[\frac{4}{11+2\theta/T} \right]$$

$$= 0,919 \left[\frac{4}{11+2 \cdot 0,919/27,381} \right] = 0,332 \quad (7)$$

Dimana,

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$= \frac{0,968}{2,94} = 0,33 \quad (8)$$

$$K_d = K_p \cdot T_d$$

$$= 0,332 \cdot 0,968 = 0,3215 \quad (9)$$

Tabel 3 akan menunjukkan nilai parameter kontrol PID yang telah dihitung dengan menggunakan formula Z-N dan C-C.

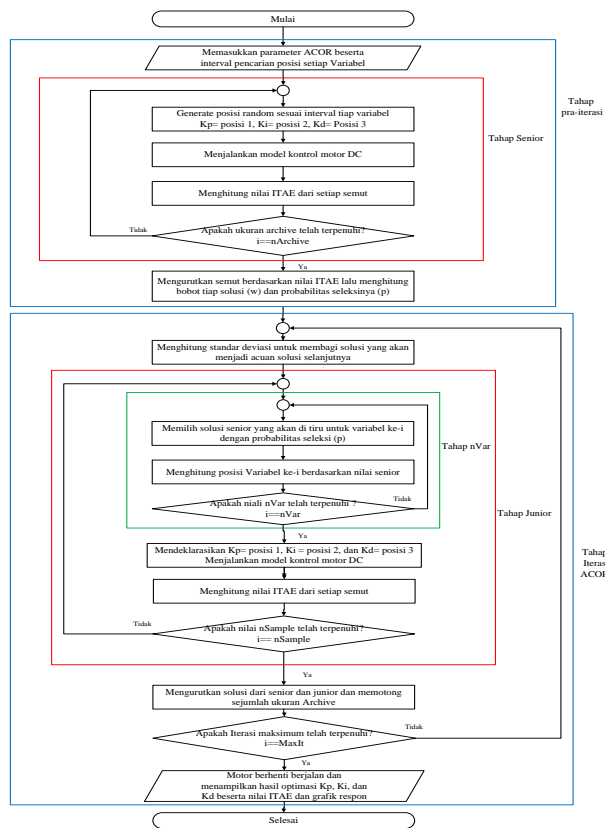
Tabel 3. Nilai Kp, Ki, dan Kd dengan menggunakan Z-N dan C-C

| Metode | Kp | Ki | Kd |
|--------|-------|------|------|
| Z-N | 0,86 | 0,47 | 0,39 |
| C-C | 0,968 | 0,33 | 0,32 |

2.4. Perancangan Metode ACOR

Metode optimisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)*. ACOR merupakan metode pengembangan dari *Ant Colony Optimization (ACO)* atau yang biasa disebut metode koloni semut dalam bahasa Indonesia yang pertama kali diperkenalkan oleh Moysen dan Mendrik

pada tahun 1988, lalu dikembangkan secara luas oleh Marco Dorigo pada tahun 1992 [4]. Metode ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan. ACO merupakan teknik probabilistik untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur terbaik melalui grafik. Metode ACO hanya dapat digunakan pada domain diskrit, oleh karena itu pada tahun 2006 Marco Dorigo mengembangkan penelitiannya untuk ACO pada domain kontinu. Pada Gambar 5 akan memperlihatkan diagram alir metode optimasi ACOR dengan beberapa tahapan.



Gambar 5. Diagram alir metode ACOR

Secara garis besar tahapan pada algoritma ACOR terdiri dari tahap pra-iterasi dan tahap iterasi [5].

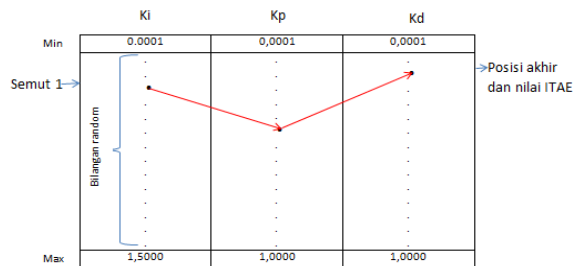
Tahap pra- iterasi adalah tahapan yang dilakukan sebelum di mulainya proses iterasi ACOR. Pada tahap pra-iterasi algoritma di mulai dengan menentukan parameter ACOR dan proses semut senior yang akan digunakan sebagai *archive* dalam proses iterasi oleh semut junior. Parameter yang digunakan pada algoritma ACOR ditunjukkan pada Tabel 4 adalah parameter terbaik yang didapatkan dari hasil pengujian.

Tabel 4. Nilai parameter ACOR

| Parameter | Simbol | Nilai |
|-----------------------|--------|-------|
| ukuran archive (nPop) | k | 50 |

| | | |
|----------------------------|------------|-------|
| Maksimum Iterasi | maxiterasi | 25 |
| Semut periterasi(nSample) | m | 50 |
| Kecepatan konvergensi | zeta | 0,85 |
| Lokalitas proses pencarian | q | 0,001 |

Pada tahap ini semua parameter ACOR dimasukkan lalu model kendali motor DC akan dijalankan dan setiap semut senior akan memulai pencarian posisi yang terbaik pada setiap variabel dan di akhir pencarian akan menghasilkan nilai fungsi biaya (ITAE) pada akhir pencarian. Gambar 6 akan menjelaskan skema proses pencarian setiap semut.



Gambar 6. Proses pencarian setiap semut

Tahap selanjutnya setelah proses pra- iterasi ACOR adalah tahap Iterasi ACOR, tahap ini merupakan *looping* utama dari algoritma ACOR. Solusi semut senior yang telah disimpan sebagai *Archive*, pada tahap ini digunakan sebagai acuan untuk posisi semut junior (baru) yang akan di bangkitkan. Lalu semut junior akan melanjutkan pencarian hingga batas iterasi yang telah ditentukan. Pada akhir iterasi motor akan berhenti dan hasil optimasi terbaik yaitu nilai parameter K_p, K_i, K_d dan nilai ITAE beserta dengan grafik ITAE dan plot respon transien dari kendali motor DC dengan parameter terbaik akan ditampilkan.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Pengujian parameter metode optimasi

Parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 merupakan parameter yang dibutuhkan dalam algoritma ACOR. Parameter ini akan sangat menentukan proses optimasi dari algoritma ACOR dalam menemukan nilai parameter kontrol PID untuk kendali motor DC. Oleh karena itu dibutuhkan pengujian parameter untuk mendapatkan nilai parameter terbaik yang akan digunakan pada algoritma ACOR dalam proses optimasi parameter kendali motor DC. Terdapat 3 pengujian parameter ACOR yaitu pengujian nilai Zeta, q, lalu pengujian k, m dan jumlah iterasi yang digunakan.

1. Pengujian nilai Zeta

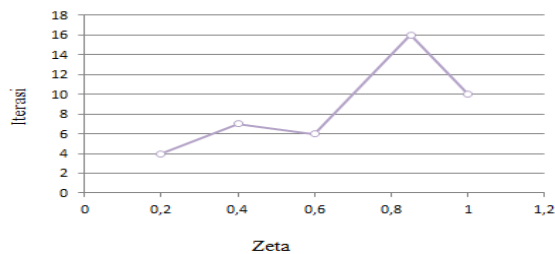
Parameter Zeta pada algoritma ACOR memiliki efek yang sama dengan parameter Rho pada algoritma ACO, yaitu parameter yang menentukan kecepatan penguapan pheromon pada lintasan semut. Nilai parameter Zeta mempengaruhi solusi terbaik yang

akan disimpan pada *archive*. Semakin besar nilai Zeta maka akan semakin lama kecepatan konvergensi pada algoritma ACOR. Pengujian dilakukan dengan menggunakan maxfail 5 dan parameter yang lain diasumsikan dan bernilai konstan. Pada Tabel 4 adalah hasil pengujian Zeta.

Tabel 5. Hasil pengujian parameter Zeta

| k | m | Iterasi | q | Zeta | ITAE | Konvergensi |
|----|---|---------|-------|------|---------|-------------|
| 50 | 5 | 25 | 0,001 | 0,2 | 0,00924 | 4 |
| | | | | 0,4 | 0,00255 | 7 |
| | | | | 0,6 | 0,00471 | 6 |
| | | | | 0,85 | 0,00233 | 16 |
| | | | | 1 | 0,00430 | 10 |

Dari tabel 4 dapat dibuat karakteristik nilai zeta yang ditunjukkan pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Karakteristik nilai Zeta terhadap jumlah iterasi

Gambar 7 memperlihatkan karakteristik nilai Zeta, seiring dengan bertambahnya nilai parameter Zeta maka kecepatan konvergensi pun akan semakin lama (jumlah iterasi semakin banyak). Namun semakin cepat ataupun semakin lama kecepatan konvergensi belum tentu menghasilkan nilai fungsi biaya yang baik maka pada penelitian ini yang membatasi proses optimasi algoritma ACOR adalah iterasi maksimum dan bukan kecepatan konvergensi untuk mendapatkan nilai ITAE yang paling baik. Oleh karena itu nilai yang dipakai pada algoritma ACOR adalah 0,85 dengan kecepatan konvergensi yang lebih lama dan nilai ITAE yang cukup kecil.

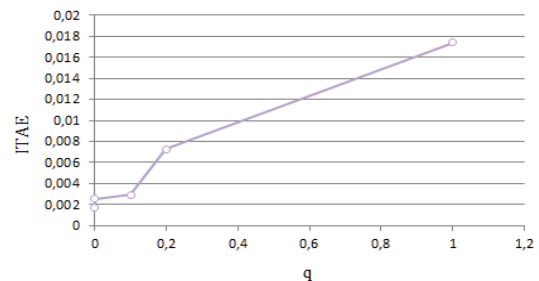
2. Pengujian Parameter Lokalitas Proses Pencarian (q) Parameter q pada algoritma ACOR sangat berpengaruh dalam perhitungan vector bobot ω . Nilai q berperan untuk menentukan lokalitas proses pencarian solusi terbaik oleh semut pada saat iterasi. Ketika nilai q kecil maka nilai solusi terbaik yang tersimpan pada *archive* semakin beragam sehingga nilai ITAE akan semakin baik, dan apabila nilai parameter q semakin besar maka probabilitas solusi yang tersimpan pada *archive* menjadi lebih seragam sehingga menghasilkan nilai ITAE yang tidak terlalu baik. Pada pengujian nilai parameter q tidak menggunakan maksimum kesalahan (maxfail) untuk menghentikan konvergensi, melainkan

menggunakan maksimum iterasi dengan Zeta nilai parameter ACOR yang lain diasumsikan dan konstan pada setiap pengujian. Hasil pengujian nilai q ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 10.

Tabel 6 Hasil pengujian parameter q

| k | m | Max Iterasi | Zeta | q | ITAE | Waktu eksekusi |
|----|---|-------------|------|-------|---------|----------------|
| 50 | 5 | 25 | 0,85 | 0,001 | 0,00173 | 130,8553 |
| | | | | 0,01 | 0,0025 | 131,640 |
| | | | | 0,1 | 0,00294 | 129,7474 |
| | | | | 0,2 | 0,00726 | 131,7761 |
| | | | | 1 | 0,0173 | 131,2688 |

Dari Tabel 5 dapat dibuat karakteristik nilai zeta yang ditunjukkan pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Karakteristik nilai q terhadap jumlah Iterasi

Gambar 8 memperlihatkan karakteristik nilai q terhadap nilai ITAE. Dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya nilai parameter q maka nilai ITAE yang dihasilkan pun akan semakin besar. Hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa seiring dengan bertambahnya nilai parameter q maka nilai solusi yang ditiru pada *archive* akan semakin seragam sehingga nilai ITAE yang dihasilkan akan semakin besar. Oleh karena itu, nilai q yang dipakai pada algoritma ACOR adalah nilai yang paling kecil yaitu 0,001 dengan nilai ITAE yang kecil pula yaitu 0,0017383.

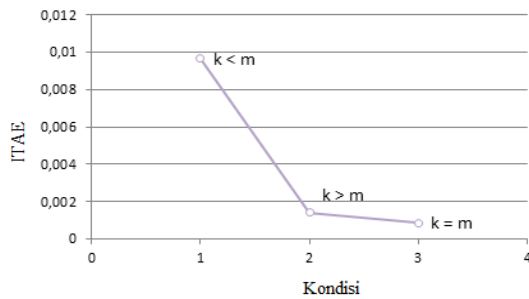
3. Pengujian parameter k dan m beserta jumlah iterasi Jumlah ukuran k dari solusi *archive* berpengaruh pada jumlah solusi terbaik yang akan disimpan dan ukuran populasi semut mempengaruhi unjuk kerja yang baik dan keefektifan algoritma ACOR. Metode Optimasi ACOR dengan ukuran populasi yang kecil biasanya unjuk kerjanya buruk karena populasi tidak menyediakan cukup materi untuk mencakup ruang persoalan sehingga dapat menyebabkan *premature convergence*, sedangkan ukuran populasi yang terlalu besar akan mengurangi efisiensi dalam proses komputasi. Nilai parameter m dan k yang tidak sesuai akan menyebabkan proses optimasi kurang optimal dikarenakan kurangnya solusi terbaik yang disimpan. Nilai parameter Zeta dan q terbaik yang dihasilkan dari pengujian sebelumnya akan

digunakan pada pengujian ini dengan jumlah iterasi 25, nilai parameter ACOR ini akan bernilai konstan pada setiap pengujian. Ada 3 kondisi yang akan diuji yaitu saat nilai $k < m$, saat nilai $k > m$, dan saat nilai $k = m$. Hasil pengujian nilai q ditunjukkan pada Tabel 7 dan Gambar 9.

Tabel 7. Hasil pengujian parameter k dan m

| Zeta | q | Iterasi | Kondisi | k | m | Waktu Eksekusi | ITAE |
|------|-------|---------|---------|----|----|----------------|------------|
| 0,85 | 0,001 | 25 | k < m | 25 | 50 | 1,034 | 0,0096581 |
| | | | k > m | 50 | 25 | 734,758 | 0,0014168 |
| | | | k = m | 50 | 50 | 1,019 | 0,00086527 |

Dari Tabel 7 dapat dibuat karakteristik nilai zeta yang ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Karakteristik kondisi nilai k dan m terhadap nilai ITAE

Gambar 9 memperlihatkan karakteristik 3 kondisi nilai k dan m terhadap nilai ITAE. Dapat dilihat bahwa setiap kondisi menghasilkan nilai ITAE yang berbeda-beda. Kondisi 1 yaitu saat nilai $k < m$ nilai ITAE yang dihasilkan yaitu 0,0096581, kondisi 2 saat nilai $k > m$ nilai ITAE yang dihasilkan yaitu 0,0014168, dan pada kondisi 3 saat nilai $k = m$ nilai ITAE yang dihasilkan yaitu 0,00086527. Jika nilai archive dan populasi semut tidak sesuai dalam pencarian solusi maka nilai fungsi biaya yang dihasilkanpun tidak terlalu baik. Oleh karena itu, kondisi yang dipakai dalam pengujian algoritma ACOR adalah kondisi ke 3 dengan nilai m sama dengan nilai k yaitu 50 dengan nilai ITAE yang paling kecil yaitu 0,00086527.

Dengan didapatkannya nilai dari parameter Zeta, q, m, dan k yang terbaik untuk proses pengujian algoritma ACOR maka selanjutnya akan ditentukan jumlah iterasi yang akan digunakan pada algoritma ACOR. Nilai iterasi sangat berpengaruh pada nilai ITAE yang dihasilkan terhadap waktu komputasi. Tabel 8 adalah hasil pengujian jumlah iterasi terhadap waktu.

Tabel 8. Tabel pengujian iterasi

| Zeta | q | k | m | Iterasi | Waktu | ITAE |
|------|---|---|---|---------|-------|------|
|------|---|---|---|---------|-------|------|

| | | | | Eksekusi (s) | | |
|------|-------|----|----|--------------|-------|------------|
| 0,85 | 0,001 | 50 | 50 | 25 | 1.019 | 0,00086527 |
| | | | | 50 | 3.056 | 0,00076055 |

Pada Tabel 8 dapat terlihat hasil pengujian banyaknya iterasi terhadap waktu eksekusi dan nilai ITAE. Iterasi yang digunakan pada pengujian ini yaitu 25 iterasi dan 50 iterasi. Pada saat jumlah iterasi 25 nilai ITAE menunjukkan angka tidak terlalu berbeda jauh dengan saat jumlah iterasi 50 hanya terpaut 0,0001. Namun keduanya memiliki perbedaan waktu komputasi yang jauh yaitu 1.019 s dan 3.056 s. Oleh karena itu jumlah iterasi yang digunakan pada pengujian algoritma ACOR adalah 25 iterasi.

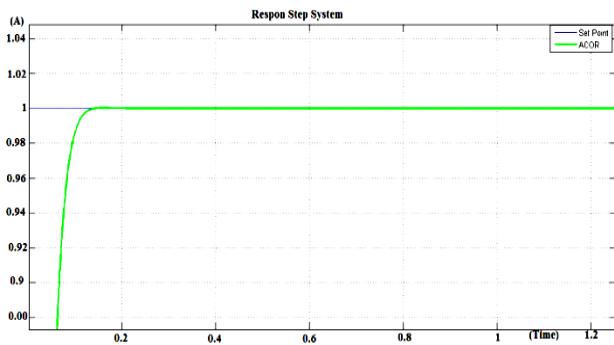
3.2. Pengujian Ant Colony Optimization (for Contious Domain)

Pada pengujian ACOR tahap pengujian dilakukan seperti diagram alir pada Gambar 7. Semua parameter yang telah didapatkan dari hasil pengujian 3.1 dimasukkan ke dalam algoritma begitu juga dengan nilai fungsi ITAE. Lalu model kendali motor DC di dijalankan dan proses pencarian solusi terbaik oleh semut akan dimulai. Proses optimasi akan terus berlangsung sampai pada batas iterasi yaitu 25 iterasi. Pada saat jumlah iterasi telah tercapai dan semua semut telah menemukan solusi yang terbaik maka motor DC akan berhenti dan didapatkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang terbaik untuk kendali motor DC beserta nilai ITAE dengan metode ACOR yang akan ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai K_p , K_d , K_d dan ITAE menggunakan ACOR

| Metode | K_p | K_i | K_d | ITAE | Waktu Eksekusi (s) |
|--------|---------|----------|---------|------------|--------------------|
| ACOR | 12,9984 | 0,725952 | 6,36266 | 0,00086527 | 1.019 |

Tabel 9 memperlihatkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d hasil optimasi oleh algoritma ACOR. Nilai parameter yang didapatkan yaitu K_p 12,9984, K_i = 0,725952 dan K_d = 6,36266 dengan nilai ITAE yang sangat kecil yaitu 0,00086527 dan waktu eksekusi yang cukup singkat yaitu 1,019 s. Setelah semua nilai parameter telah didapatkan, maka akan ditampilkan kurva respon transien beserta kurva nilai ITAE terhadap iterasi dengan menggunakan metode ACOR seperti pada Gambar 10 dan 11 berikut ini.



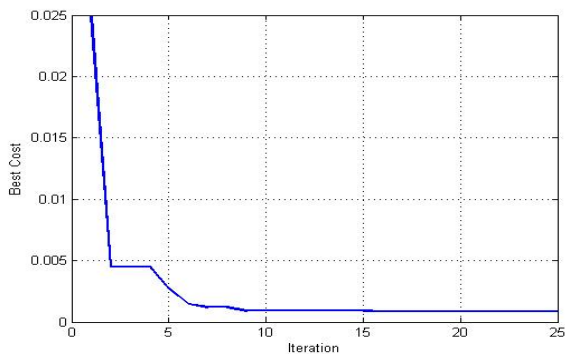
Gambar 10. Kurva respon transeien dengan metode ACOR

Pada Gambar 10 dapat terlihat kurva respon transient, yaitu nilai amplitudo terhadap waktu dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)*. Dari kurva pada Gambar 10 didapatkan nilai respon transien seperti pada Tabel 10 .

Tabel 10 Respon transien dengan menggunakan ACOR

| Metode | Td (s) | Tr (s) | Mp(%) |
|--------|--------|--------|-------|
| ACOR | 0,03 | 0,1235 | 0 |

Dari Tabel 10 yang menunjukkan nilai respon transien, dapat dilihat bahwa hasil respon kendali motor DC dengan nilai parameter kontrol PID yang didapatkan dengan menggunakan metode optimasi metode *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)* sudah terbilang baik. Nilai waktu naik (Tr) yang dihasilkan adalah 0,1235s, nilai waktu tunda 0,03s dan dengan persentasi nilai lewatan maksimum 0 %. Hasil respon ini sangat baik dan ideal untuk digunakan pada kendali motor DC karena sistem tidak beresilasi dan sangat cepat mencapai waktu stabil sesuai dengan *set point* yang diberikan. Pada Gambar menunjukkan nilai perubahan nilai ITAE terhadap iterasi

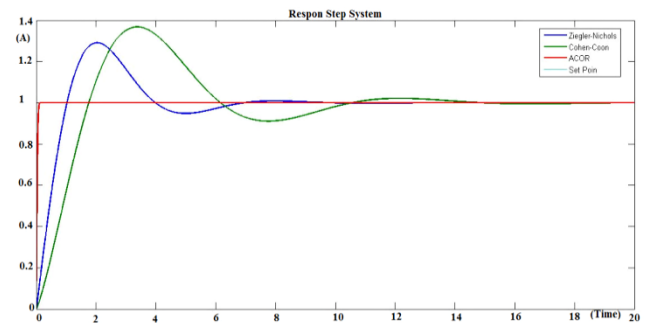


Gambar 11. Kurva nilai ITAE metode ACOR

Berdasarkan Gambar 11 dapat terlihat kurva perubahan nilai ITAE terhadap Iterasi. Nilai ITAE pada metode ACOR telah konstan sejak iterasi ke-17 dengan nilai ITAE = 0,00086527 dan nilai ini dipertahankan hingga akhir iterasi sebagai solusi terbaik dari ACOR.

3.3. Analisa perbandingan metode ACOR dengan metode Z-N dan C-C

Berdasarkan data yang telah di dapatkan pada pengujian penentuan parameter kontrol PID dengan metode konvensional *Ziegler-Nichols* dan *Cohen- Coon* serta metode optimasi *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)* maka hasilnya akan di bandingkan dan di analisa. Gambar 4.9 adalah kurva dari metode konvensional (Z-N dan C-C) dan metode optimasi ACOR.



Gambar 12. Kurva respon metode konvensional(Z-N danC-C) dan metode ACOR

Terlihat kurva pada Gambar 12 terdapat perbedaan respon yang jauh antara metode konvensional Z-N dan C-C dengan metode optimasi ACOR dalam penentuan parameter kontrol PID. Tabel 11 akan menampilkan perbedaan respon metode ini.

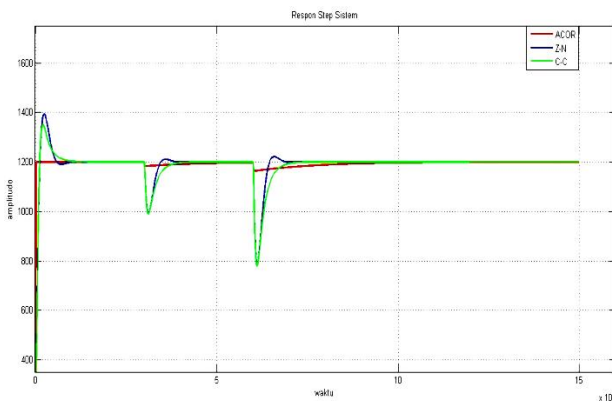
Tabel 11. Perbandingan nilai respon transien metode konvensional dan optimasi

| Metode | Td (s) | Tr (s) | Ts (s) | Mp (%) | K _p | K _i | K _d |
|------------------|--------|--------|--------|--------|----------------|----------------|----------------|
| ACO _R | 0,03 | 0,14 | 0,1 | 0 | 12,524 5 | 0,699 46 | 6,131 11 |
| Z-N | 0,36 | 1,13 | 6,4 | 16,1 | 0,86 | 0,47 | 0,39 |
| C-C | 0,38 | 1,1 | 7,4 | 12,5 | 0,968 | 0,33 | 0,321 5 |

Dari Tabel 11 dapat terlihat bahwa metode optimasi *Ant Colony Optimization (for Continuous Domain)* memiliki nilai respon transien yang jauh lebih baik dari pada metode konvensional *Ziegler-Nichols* dan *Cohen-Coon* . Nilai presentasi lewatan maksimum pada ACOR hanya 0% sedangkan pada Z-N dan C-C cukup tinggi yaitu 16,1% dan 12,5%. Terlihat juga bahwa nilai waktu naik pada metode ACOR lebih kecil yaitu 0,1235 s sedangkan metode Z-N dan C-C cukup besar yaitu 1,13 s dan 1,1 s. Pada metode ACOR telah mencapai waktu tunda pada 0,03 s, sedangkan metode Z-N dan C-C baru mencapai nilai waktu tunda pada 0,36 s dan 0,38s.

3.4. Perbandingan respon kendali motor DC ketika diberi perubahan beban

Kendali motor DC yang telah ditemukan nilai parameternya dengan menggunakan metode ACO_R , Z-N, dan C-C lalu di uji pada kondisi motor diberikan pembebanan. Dalam kasus ini tegangan nominal motor DC diatur sebesar 1200 dan dijalankan selama 150 detik. Pada awalnya sistem dijalankan tanpa beban ($T_d = 0$), lalu pada detik ke 30 sistem diberikan torsi pembebanan sebesar 5, dan pada detik ke 60 diberikan torsi pembebanan sebesar 10. Respon kendali motor DC saat diberikan pembebanan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Kurva respon kendali motor DC ketika diberi pembebanan

Dari Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa kendali motor DC dengan menggunakan parameter kontrol PID yang ditentukan dengan metode ACO_R memiliki respon sistem yang lebih baik dan handal dibandingkan metode konvensional Z-N dan C-C.

4. Kesimpulan

Nilai parameter ACO_R yang digunakan pada algoritma adalah nilai parameter terbaik yang didapatkan dari hasil pengujian. Nilai parameter Zeta yang didapatkan sebesar 0,85, parameter q sebesar 0,001, parameter m (jumlah semut) dan k (*archive*) bernilai sama yaitu 50 dan jumlah iterasi yang digunakan adalah 25 iterasi.

Metode *Ant colony Optimization (for Continous Domain)* dapat diaplikasikan untuk menentukan nilai parameter kontrol PID yang digunakan untuk kendali motor arus searah. Nilai parameter kontrol PID yang didapatkan yaitu nilai K_p sebesar 12, 998, K_i sebesar 0,72595 dan nilai K_d sebesar 6, 3626 dengan nilai ITAE sebesar 0,0008652 dan lama proses komputasi adalah 1.019 s. Keluaran respon step yang dihasilkan dengan menggunakan parameter kontrol PID hasil optimisasi sangat efektif yaitu waktu tunda hanya sebesar 0,03 s, waktu naik sistem sebesar 0,123 s, waktu penetapan sebesar 0,2 s dan lewatan maksimum pada sistem sebesar 0%.

Hasil penentuan parameter kontrol PID dengan metode *Ant colony Optimization (for Continous Domain)* menghasilkan nilai respon step yang lebih efisien dengan performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode konvensional. Step respon yang dihasilkan dengan metode ACO_R mampu menurunkan nilai waktu naik rata-rata sebesar 0,96 s, waktu tunda 0,33 s, waktu penetapan sebesar 6,5 s dan persentase lewatan maksimum sebesar 100% jika dibandingkan dengan metode *Ziegler-Nichols* dan *Cohen-Coon*.

Ketika model kendali motor DC diberikan torsi pembebanan pada waktu 30s dan 60s, kendali motor DC dengan nilai parameter metode ACO_R memiliki respon sistem yang lebih baik dan kembali stabil pada kecepatan nominal yang diberikan dibandingkan dengan metode Z-N dan C-C.

Referensi

- [1]. Krause, Paul. C., *Analysis of Electrical Machinery. MacGraw-Hill Book Company*. 2nd Edition, 1987
- [2]. M.Sabir, Mirza., "Optimal design of PID Controller for the speed Control of DC motor by Metaheuristic Techniques", Hindawi Publishing Corporation Advance in Artificial Neural System Volume 2014, Article ID 126317.
- [3]. A. N. A. K. Mishra, "Speed control of DC motor using particle swarm optimization technique," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 2, no. 6, pp. 1643–1649, 2013.
- [4]. Dorigo, Marco dan Luca Maria Gambardella. 1997. "Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem".IEEE Transaction for Evolutionary Computation, Vol. 1, No.1, 1997.
- [5]. Santoso,Budi dan Paul Willy. *Metode Metaheuristik, Konsep dan Implementasi*. Surabaya : Guna Widya. 2011.
- [6]. Ridhani,Wahyu. "Optimisasi Biaya Pembangkitan Pada Sistem 500 KV Jawa- Bali Menggunakan Metode Ant Colony Optimization(ACO)".TRANSIENT,Vol.3, No. 3, September 2014
- [7]. Ogata,Katsuhiko.1995.*Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*.jilid1. Erlangga.jakarta.