

Optimasi Time Dial Setting (TDS) Relay Arus Lebih Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur

Vincentius Raki Mahindhara, Margo Pujiantara, Ardyono Priyadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: margo@ee.its.ac.id

Abstrak—Penggunaan relay arus lebih (*over current relay*) pada industri memerlukan pengaturan beberapa parameter seperti arus pickup (I_p), *time dial setting* (TDS), serta waktu operasi (t_{op}). Dalam standard acuan dicantumkan batasan-batasan dan formulasi dalam menentukan parameter tersebut. Salah satu permasalahan adalah penentuan TDS pada relay *inverse* (Kode ANSI 51). Umumnya penentuan nilai TDS dilakukan dengan metode *trial and error*, hal ini dirasa kurang efektif sehingga diusulkan suatu metode baru dalam menentukan TDS pada sistem kelistrikan eksisting PT. Pupuk Kalimantan Timur. Digunakan algoritma *adaptive firefly* yang dimodifikasi dalam menyelesaikan permasalahan dengan mempertimbangkan kurva *starting motor* dan perbedaan tipe kurva antar relay.

Kata Kunci—*Firefly Algorithm*, Koordinasi Proteksi, *Overcurrent Relay*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik dibidang industri selalu mengalami peningkatan seiring dengan pengembangan yang dilakukan. Kondisi tersebut tentu harus diikuti dengan perkembangan sistem proteksi kelistrikan, mengingat kemungkinan terjadinya gangguan listrik semakin tinggi. Pengembangan sistem proteksi kelistrikan dilakukan tidak hanya sekedar menggunakan peralatan yang handal, namun juga cara menentukan *setting* parameter pengamanan secara tepat. Hal ini bertujuan untuk mengamankan beban secara selektif dan akurat saat terjadi gangguan.

Salah satu peralatan yang digunakan pada sistem proteksi adalah relay arus lebih (*overcurrent relay*). Relay arus lebih bekerja untuk merasakan arus yang mengalir dan mengirimkan sinyal ke *circuit breaker* guna melindungi sistem dari kemungkinan gangguan hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*overload*). Parameter pengamanan arus hubung singkat dilakukan dengan waktu yang singkat (*instantaneous time*), sementara perlindungan beban lebih dengan waktu yang relatif lebih lama. Pada relay arus lebih, kedua kondisi ini digabungkan kedalam suatu kurva. Kondisi pengamanan tersebut dihubungkan melalui suatu karakteristik dengan parameter yang harus diinputkan oleh operator ke dalam relay berupa arus pickup (I_p), *time dial setting* (TDS), serta *time delay* (t_d). Parameter tersebut harus ditentukan dengan

mempertimbangkan arus yang mengalir pada beban, koordinasi antar relay, serta perlindungan terhadap beban esensial.

Penentuan parameter pada relay sejatinya telah diatur pada standar IEC 60255, IEEE 242, maupun BS 142. Pada standar tersebut dilakukan kalkulasi dengan menyediakan batasan minimum dan maksimum pada penentuan arus (I_p) dan formulasi TDS. Akan tetapi pada implementasinya kerap terjadi kesalahan koordinasi karena sulitnya menentukan nilai TDS untuk beberapa relay dengan tipe kurva yang berbeda. Hal inilah yang menjadi permasalahan dan akan diselesaikan dalam tugas akhir ini.

Secara konvensional, penentuan TDS biasa dilakukan dengan metode *trial and error*. Pada metode tersebut, operator akan mencoba melakukan *plotting* karakteristik melalui kurva *Time Current Characteristic* (TCC). Dari kurva tersebut maka operator akan mengamati koordinasi antar relay dan menghindari kemungkinan *relay trip* secara bersamaan. Tentu saja metode ini memerlukan banyak perulangan (iterasi) dan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu diusulkan suatu metode optimasi menggunakan *firefly algorithm*. Algoritma ini merupakan suatu kecerdasan buatan yang terinspirasi dari perilaku koloni kunang-kunang yang ditemukan peneliti *Cambridge University*, Xin-She Yang pada tahun 2008 [3].

PT. Pupuk Kalimantan Timur merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri kimia dengan mengolah gas alam menjadi pupuk. Sejak berdiri pada tahun 1977, pengembangan pabrik terus dilakukan hingga saat ini telah memiliki tujuh pembangkit listrik (Kaltim-1 14 MW (*Off*), Kaltim-2 28 MW, Kaltim-3 26 MW, Kaltim-4 20 MW, Kaltim-5-1 30 MW, Kaltim-5-2 30 MW, dan KDM 26 MW). Masing-masing pembangkit diintegrasikan melalui suatu *ring bus* pada tegangan 33 kV untuk mensuplai daya listrik pada beban pabrik PT. Pupuk Kalimantan Timur (Kaltim-1, Kaltim-2, Kaltim-3, Kaltim-4, Kaltim-5, POPKA, dan fasilitas pendukung berupa *mini substation* untuk perkantoran dan perumahan) serta beban pada pabrik *joint venture* yang mengolah ammonia dari Pupuk Kaltim seperti PT. KPA, PT. KPI, PT. KDM, PT. KNI, PT. KMI, PT. OKM.

Tabel I
Koefisien Kurva Inverse Standard Iec

| Tipe Kurva | k | α | β |
|-------------------|-------|----------|---------|
| Long Time Inverse | 120 | 1 | 13,33 |
| Standard Inverse | 0,14 | 0,02 | 2,97 |
| Very Inverse | 13,5 | 1 | 1,5 |
| Extremely Inverse | 80 | 2 | 0,808 |
| Ultra Inverse | 315,2 | 2,5 | 1 |

II. PRINSIP KOORDINASI PROTEKSI

Tujuan dari koordinasi proteksi sistem kelistrikan dengan parameter arus adalah untuk menentukan karakteristik, *rating*, dan *setting* dari peralatan pengaman arus lebih yang berfungsi untuk meminimalisasi kerusakan perangkat serta melokalisir hubung singkat sesegera mungkin. Peralatan pengaman arus lebih bekerja dengan bagian primer dan *backup*. Bagian primer merupakan barisan pertama dalam menanggulangi kerusakan akibat gangguan. Tentu saja pada bagian primer, diperlukan peralatan yang bekerja lebih cepat dan apabila gagal akan ditanggulangi oleh peralatan *backup*.

Pada peralatan proteksi, *pickup* memiliki arti nilai minimum arus yang mengalir sebelum perangkat memulai tindakan. Dengan kata lain, logika berpikir yang digunakan dalam peralatan (dalam hal ini *relay* arus lebih) adalah sebagai berikut:

Jika $I_F \geq I_p$, maka *relay* mengirimkan sinyal *trip*

Jika $I_F < I_p$, maka *relay* tidak melakukan apa-apa

(I_F adalah arus gangguan dan I_p adalah arus *pickup*)

Menurut British Standard BS 142, batas dalam menentukan arus *pickup* pada *relay* sebagai pelindung dari beban lebih adalah:

$$1,05 \text{ FLA} < I_p < 1,4 \text{ FLA}$$

Sementara untuk batas penentuan arus *pickup* pada *relay* sebagai pelindung kejadian hubung singkat adalah:

$$1,6 \text{ FLA} < I_p < 0,8 I_{SC \text{ MIN}}$$

Dimana FLA adalah *Full Load Ampere* yang berarti arus yang mengalir pada beban sesuai daya maksimum dan $I_{SC \text{ MIN}}$ adalah arus hubung singkat minimum ($I_{SC \text{ 2\phi}}$) dalam durasi *steady state* (30 cycle).

Suatu kurva TCC (*Time Current Characteristic*) mendefinisikan waktu operasi dan nilai arus operasi pada suatu peralatan proteksi. Kurva TCC digunakan sebagai panduan perancang dalam membuat suatu skema koordinasi proteksi. Kerangka pemikiran yang diperlukan adalah menentukan apakah antar kurva pada TCC boleh bersinggungan atau tidak, sesuai dengan kebutuhan koordinasi. *Relay* arus lebih pada umumnya digambarkan dalam suatu kurva satu garis. Pada *relay inverse* (Kode ANSI 51) terdapat beberapa tipe kurva yang membantu dalam melakukan koordinasi. Tipe kurva ini ditentukan berdasarkan persamaan berikut [2] (IEC Standard)

$$t_{op} = \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right) \times \beta} \tag{1}$$

Dimana t_{op} adalah waktu operasi *relay*, TDS adalah *Time*

Tabel II
Clearing Time Interval Relay

| Kerja Relay | Tipe Relay | |
|---|--------------------|--------|
| | Electro mechanical | Static |
| <i>Circuit breaker opening time</i> | 0,08 s | 0,08 s |
| <i>Relay overtravel</i> | 0,10 s | 0,00 s |
| <i>Relay tolerance and setting errors</i> | 0,12 s | 0,12 s |
| Total CTI | 0,30 s | 0,20 s |

Dial Setting, I adalah arus pada keadaan t_{op} dan I_p adalah arus *pickup* untuk perlindungan beban lebih. Persamaan (1) juga disusun dengan beberapa koefisien yang dilampirkan pada tabel 1 [2].

Salah satu pertimbangan dalam melakukan koordinasi *relay* arus lebih selain menentukan gradasi arus *pickup* adalah penentuan waktu kerja *relay*. Tanpa adanya interval antar *relay*, peralatan pengaman mungkin bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Pada kurva arus dan waktu (TCC), selain memperhatikan koordinasi dengan tidak mentolerir adanya kurva *relay* yang berpotongan, perlu diperhatikan juga durasi tunggu antar *relay*. Dengan peralatan yang modern, durasi tunggu antar *relay* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti cara kerja *relay*, *overtravel relay*, dan toleransi error. Secara ringkas, batasan CTI dapat ditinjau pada tabel 2 [1].

III. FIREFLY ALGORITHM

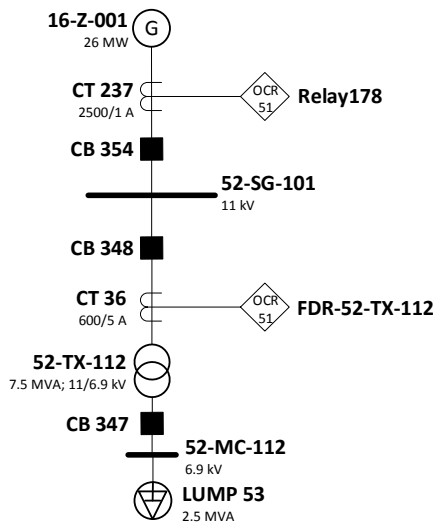
Firefly algorithm [3] adalah suatu algoritma yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang pada alam bebas. Kunang-kunang yang tersebar memiliki posisi dan intensitas cahaya masing-masing. Pada algoritma ini, setiap kunang-kunang dianggap *unisex* (semua kunang-kunang berjenis kelamin sama) dan ketertarikan kunang-kunang satu dengan lainnya dipengaruhi oleh intensitas cahayanya. Artinya, kunang-kunang yang lebih terang akan didekati oleh kunang-kunang yang redup.

Dalam aplikasinya, intensitas kecerahan tiap kunang-kunang dirumuskan melalui *objective function* persamaan yang akan diselesaikan. Semakin benar nilai pada kunang-kunang tersebut, maka semakin terang intensitas cahayanya. Selanjutnya, dilakukan pembaruan posisi kunang-kunang yang terpengaruh oleh intensitas cahaya kunang-kunang lain. Perubahan posisi kunang-kunang dirumuskan melalui persamaan berikut:

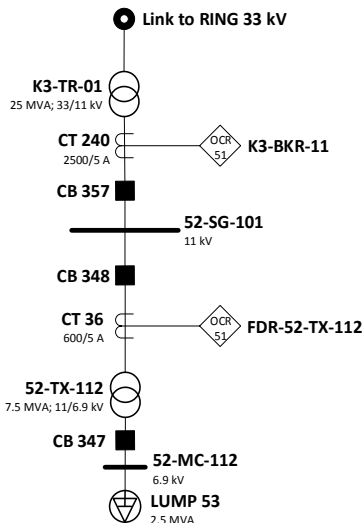
$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \tag{2}$$

Dimana x adalah posisi kunang-kunang, i adalah posisi kunang-kunang, j adalah posisi kunang-kunang pembanding, β adalah faktor ketertarikan kunang-kunang (*attractiveness*), γ adalah faktor kemampuan penyerapan cahaya, r adalah jarak antara kunang-kunang i dan j , α adalah parameter acak (*randomization*) pergerakan kunang-kunang, dan ϵ adalah suatu vektor berisi konstanta acak yang mengacu pada Distribusi Gaussian.

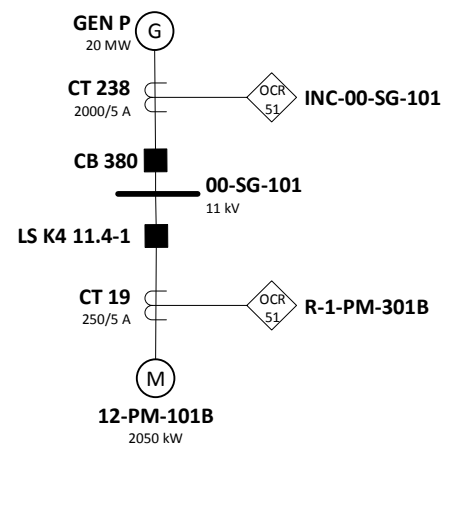
Koefisien β , γ , dan α bernilai 0 sampai 1. Nilai ini β yang semakin besar akan mempercepat kunang-kunang dalam mendekati kunang-kunang lain yang lebih terang namun



Gambar 2. Single Line Diagram Tipikal 1



Gambar 3. Single Line Diagram Tipikal 2



Gambar 4. Single Line Diagram Tipikal 3

Tabel III
Perbandingan Hasil Antar Metode Tipikal 1

| | FDR-52-TX-112 | | Relay 178 | | CTI | |
|------------|---------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
| | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi |
| TDS | 0,11 s | 0,08 s | 0,5 s | 0,5 s | | |
| t_d | 0,154 s | 0,112 s | 0,5 s | 0,5 s | | |
| ΔT | | | | | 0,349 s | 0,39 s |

Tabel IV
Perbandingan Hasil Antar Metode Tipikal 2

| | FDR-52-TX-112 | | Relay 178 | | CTI | |
|------------|---------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
| | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi |
| TDS | 0,11 s | 0,08 s | 0,1 s | 0,1 s | | |
| t_d | 0,154 s | 0,112 s | 0,656 s | 0,656 s | | |
| ΔT | | | | | 0,41 s | 0,523 s |

Tabel V
Perbandingan Hasil Antar Metode Tipikal 3

| | R-1-PM-301B | | INC-00-SG-101 | | CTI | |
|------------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|
| | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi | Konvensional | Optimasi |
| TDS | 0,75 s | 0,61 s | 0,4 s | 0,4 s | | |
| t_d | 0,15 s | 0,122 s | 0,508 s | 0,508 s | | |
| ΔT | | | | | 0,382 s | 0,41 s |

dengan Generator GenP. Gangguan terjadi pada beban motor 12-PM-101B. Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk menguji program *optimasi* TDS dalam mempertimbangkan kurva *starting* motor yang tidak terhubung dengan peralatan *starting* apapun (metode *start* berupa *direct online*) dan berada pada level tegangan yang sama dengan generator sehingga tidak terdapat transformator maupun impedansi lain yang dapat meredam arus *starting*.

V. HASIL PENGUJIAN

Setelah mendapatkan hasil dari metode konvensional dan metode *optimasi* menggunakan *adaptive modified firefly algorithm*, maka dapat dilakukan analisis dan perbandingan antar metode tersebut. Dari tabel III dapat dianalisis bahwa metode *optimasi* mampu meminimalisir waktu operasi pada *relay* FDR-52-TX-112 dari 0,154 detik menjadi 0,112 detik.

Sementara pada *Relay* 178 tidak dilakukan *optimasi* karena tipe kurva *definite time*. Hal ini memperbesar sela *Clearing Time Interval* (CTI) dari 0,349 detik menjadi 0,39 detik. Pengurangan waktu operasi ini menunjukkan bahwa metode *optimasi* TDS menggunakan *firefly algorithm* memiliki tingkat keakuratan lebih baik dibanding metode konvensional dalam menentukan TDS untuk mendekati nilai target waktu operasi.

Sementara itu tabel IV menunjukkan data perbandingan antara kedua metode untuk menentukan TDS pada tipikal 2. Dalam kasus ini, *relay* FDR-52-TX-112 sejatinya telah *dioptimasi* pada tipikal sebelumnya, namun keunikan dari tipikal ini adalah koordinasi dilakukan antara dua *relay* dengan kurva *inverse* (pada tipikal 1 koordinasi antara kurva *inverse* dan *definite*). Hasil *optimasi* TDS yang didapat pada *relay* FDR-52-TX-112 sama dengan hasil pada tipikal 1 sementara untuk *relay* K3-BKR-11, tidak terdapat perbedaan hasil *optimasi* dengan metode konvensional. Hal ini disebabkan

karena keterbatasan *range* TDS sehingga *optimasi* yang dilakukan gagal mencapai target waktu operasi yang diberikan. Pengurangan waktu operasi pada *relay* FDR-52-TX-112 memperbesar sela CTI antar *relay* menjadi 0,523 detik dari sebelumnya 0,41 detik.

Pada tabel V, ditunjukkan data dari kedua metode untuk melakukan *optimasi* pada koordinasi proteksi tipikal 3. Pada *relay* R-1-PM-301B dapat dianalisis bahwa metode *optimasi* TDS menggunakan *firefly algorithm* mampu mengurangi waktu operasi dari 0,15 detik menjadi 0,122 detik. Hal ini dikarenakan kemampuan algoritma untuk mereduksi nilai TDS dan melakukan evaluasi dengan lebih teliti dengan mempertimbangkan karakteristik beban. Pada tipikal ini, metode *optimasi* melakukan evaluasi terhadap target waktu operasi *relay* R-1-PM-301B dari 0,05 detik menjadi 0,1 detik, sehingga data yang diperlukan menjadi lebih akurat. Sementara itu untuk *relay* INC-00-SG-101, tidak ada perbedaan antara metode konvensional dan metode *optimasi* karena nilai waktu operasi aktual sudah memiliki error paling kecil (target waktu operasi adalah 0,5 detik). Sela waktu CTI antara kedua *relay* meningkat pada metode *optimasi* menjadi 0,41 detik dibanding metode konvensional sebesar 0,382 detik.

VI. KESIMPULAN

Terdapat kekeliruan dan perlu dilakukan verifikasi pada *relay* FDR-52-TX-112 (lokasi Pabrik KALTIM-3) dengan mempertimbangkan koordinasi terhadap *relay* generator maupun *relay outgoing ring* 33 kV. Pada kasus ini, *firefly algorithm* yang telah dimodifikasi dapat mengerjakan *optimasi* dalam menentukan TDS dengan fungsi objektif berupa waktu operasi. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengembangan untuk menambah kemampuan adaptasi dengan mengevaluasi tipe kurva maupun nilai arus *pickup* ketika fungsi objektif gagal dicapai. Selain itu perlu dilakukan penyesuaian dengan *relay instantaneous* (Kode ANSI 50) agar menambah keandalan *relay* dalam melakukan sensing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Standard 242, "Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System", Institut of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [2] Protection and Control, "Sepam 1000: Sepam Range Substations, Busbars, Transformers, Motors", Groupe Schneider. 1998
- [3] Yang, Xin-She. "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms: Second Edition". University of Cambridge: 2010.