

Pemodelan Kurva Karakteristik *Inverse* Non-Standar Pada *Rele* Arus Lebih Digital Dengan Metode Interpolasi *Lagrange*

Nurio Herlambang, Margo Pujiantara, dan Ardyono Priyadi
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: margo@ee.its.ac.id, priyadi@ee.its.ac.id, nurioherlambang@gmail.com

Abstrak—Saat ini, pengaman pada sistem tenaga listrik telah memakai *rele* digital sebagai peralatan pengaman. *Rele* arus lebih dengan kurva karakteristik *inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan gangguan akibat *overload*/beban lebih, karena bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus maka makin kecil waktu tundanya. Kurva karakteristik *inverse rele* arus lebih berdasarkan standar IEC seringkali dapat terjadi tumpang tindih dengan kurva lainnya selama proses koordinasi yang disebabkan oleh kebutuhan beban pada industri yang sangat kompleks. Hal ini dapat menyebabkan operasi *tripping* yang tidak akurat. Maka diperlukan kurva karakteristik *inverse* non-standar yang dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban. Untuk dapat menghasilkan kurva yang non-standar pada *rele* arus lebih dibutuhkan sebuah pemodelan kurva dengan menggunakan metode Interpolasi *Lagrange*. *Personal Computer* (PC) digunakan sebagai media untuk mendesain kurva karakteristik yang diinginkan. Pemodelan kurva non-standar dilakukan di *software* MATLAB dengan membuat GUI dari program pemodelan kurva. GUI yang dirancang memiliki fungsi untuk mendesain kurva karakteristik *inverse* yang non-standar. Pada penerapan kurva non-standar pada ETAP 12.6, dengan nilai arus beban sebesar 657,7 A, waktu *trip*nya adalah 1,71 detik lebih cepat dibandingkan waktu *trip* pada kurva standar yaitu 2,13 detik. Hal ini dikarenakan pemodelan kurva non-standar tidak menggunakan persamaan lagi untuk menemukan waktu *trip*, namun kurva didesain oleh *user* dengan cara membuat titik-titik data baru. Hasil pengujian prototipe *rele* arus lebih digital menunjukkan hasil yang mendekati dengan data target pada ETAP dengan rata-rata *error* 1,753 %.

Kata Kunci—Interpolasi *Lagrange*, *Rele* Arus Lebih, Kurva Karakteristik *Inverse*

I. PENDAHULUAN

SAAT ini, pengaman pada sistem tenaga listrik telah memakai *rele* digital sebagai peralatan pengaman. *Rele* arus lebih dengan kurva karakteristik *inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan gangguan akibat *overload*/beban lebih, karena bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus maka makin kecil waktu tundanya. Kurva karakteristik *inverse* pada OCR sesuai dengan standar IEC ada 4 jenis, yaitu: *standard inverse* (SI), *very inverse* (VI), *extreme inverse* (EI), *long time inverse* (LTI) [1].

Kurva karakteristik *inverse rele* arus lebih berdasarkan standar IEC seringkali dapat terjadi tumpang tindih dengan kurva lainnya selama proses koordinasi yang disebabkan oleh kebutuhan beban pada industri yang sangat kompleks. Hal ini dapat menyebabkan operasi *tripping* yang tidak akurat. Maka diperlukan kurva karakteristik *inverse* non-standar yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban. Untuk dapat menghasilkan kurva yang non-standar pada *rele* arus lebih dibutuhkan sebuah pemodelan kurva [2].

Pemodelan kurva karakteristik *rele* arus lebih awalnya dimulai dengan *rele* analog seperti *rele* elektromekanik dan *rele* statis. *Rele* digital menggunakan DSP (*Digital Signal Processor*) untuk proses proteksinya. DSP akan meningkatkan keandalan dan fleksibilitas dari pengaman karena DSP adalah perangkat berkecepatan tinggi. Pada *rele* digital, pemodelan kurva karakteristik menggunakan komputer untuk menggambar kurva dan menghitung *time delay* [3]. Karena beban pada industri sangat kompleks, hal ini dapat menyebabkan proses koordinasi menjadi tidak akurat. Pemodelan berdasarkan persamaan matematik biasa tidak cocok untuk menyelesaikan sistem dengan beban yang kompleks.

Pada tugas akhir akan dilakukan pemodelan kurva karakteristik *inverse* non-standar *rele* arus lebih dengan menggunakan metode Interpolasi *Lagrange*. Interpolasi adalah metode untuk menghasilkan titik-titik data baru dalam suatu jangkauan dari suatu data-data yang diketahui. Kemudian, akan dilakukan pengujian keakuratan kurva dengan jumlah *data learning* yang berbeda.

II. TEORI PENUNJANG

A. Gangguan-gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan arus lebih yang mungkin dapat terjadi adalah sebagai berikut :

1. Gangguan beban lebih (*overload*)

Gangguan ini merupakan bukan gangguan murni, namun jika dibiarkan terus menerus terjadi maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus gangguan beban lebih tersebut. Ketika gangguan initerjadi, arus yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

2. Gangguan hubung singkat (*shortcircuit*)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi pada dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat juga digolongkan menjadi dua yaitu, gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri.

B. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan *rele* pengaman yang bekerja berdasarkan arus lebih yang disebabkan oleh terjadinya gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat yang kemudian akan memberikan perintah *trip* pada PMT sesuai dengan karakteristik waktunya. Apabila besarnya arus gangguan (I_f) melebihi suatu nilai tertentu (I_p) maka *rele* arus lebih akan bekerja. Dimana I_p adalah arus kerja *rele* berdasarkan sisi sekunder dari trafo arus (CT). *Rele* arus lebih akan bekerja jika memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_p \rightarrow$ *rele* bekerja (*trip*)

$I_f < I_p \rightarrow$ *rele* tidak bekerja

C. Rele Arus Lebih Inverse

Rele arus lebih dengan kurva karakteristik *inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan gangguan akibat *overload*/beban lebih, karena bekerja dengan waktu tunda yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan (*inverse time*), semakin besar arus gangguan maka semakin kecil waktu tundanya, sehingga semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk membuka PMT.

TCC (*Time-Current Characteristic*) adalah kurva waktu dan arus dengan skala dalam *time dial*. Jika semakin besar *time dial*, maka akan semakin lama waktu operasi dari *rele* arus lebih tersebut. Karakteristik kurva *inverse* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan IEEE 242-2001 [4]. Kurva karakteristik *inverse* sering dijumpai dengan kurva *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT). Kurva IDMT merupakan kurva gabungan antara kurva *inverse* dan *definite*, yang artinya seiring dengan kenaikan arus yang semakin besar maka waktu operasi akan turun semakin cepat mendekati waktu *definite* minimumnya. Berdasarkan standar IEC, karakteristik *inverse* *rele* arus lebih dibagi menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Karakteristik *standard inverse* (SI)
2. Karakteristik *very inverse* (SI)
3. Karakteristik *extremely inverse* (EI)
4. Karakteristik *long time inverse* (LTI)

D. Interpolasi Lagrange

Interpolasi adalah metode untuk menghasilkan titik-titik data baru dalam suatu jangkauan dari suatu data-data yang diketahui [5]. Interpolasi *Lagrange* diterapkan untuk mendapatkan fungsi polinomial $f(x)$ berderajat tertentu yang melewati sejumlah n titik data $f_1(x_1, y_1), f_2(x_2, y_2), f_3(x_3, y_3), \dots, f_n(x_n, y_n)$ dengan menggunakan pendekatan fungsi polinomial yang disusun dalam kombinasi deret. Jumlah orde pada interpolasi *lagrange* adalah $n-1$. Bentuk umum interpolasi *lagrange* orde $n-1$ adalah:

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x)f(x_i) \tag{1}$$

dengan

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \tag{2}$$

dengan Π merupakan perkalian.

Dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) dapat dihitung interpolasi *Lagrange* order 1, persamaan tersebut adalah:

$$f_1(x) = \sum_{i=0}^1 L_i(x)f(x_i) = L_0(x) f(x_0) + L_1(x) f(x_1) \tag{3}$$

$$L_0(x) = \left(\frac{x - x_1}{x_0 - x_1} \right) \tag{4}$$

$$L_1(x) = \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right) \tag{5}$$

Sehingga bentuk interpolasi polinomial *Lagrange* order 1 adalah:

$$f(x) = \left(\frac{x - x_1}{x_0 - x_1} \right) f(x_0) + \left(\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \right) f(x_1) \tag{6}$$

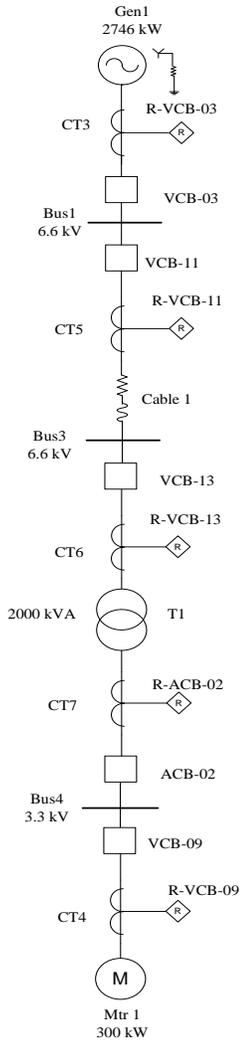
III. PERANCANGAN *HARDWARE* DAN *SOFTWARE*

Pada bab ini akan dijelaskan perencanaan dan pembuatan *software* simulasi. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendesain kurva karakteristik *inverse* non-standar dengan menggunakan metode interpolasi *lagrange* dengan menggunakan *software* MATLAB. Selain itu juga akan dilakukan pembuatan *Graphical User Interface* (GUI) dari program pemodelan kurva dengan metode interpolasi *lagrange*.

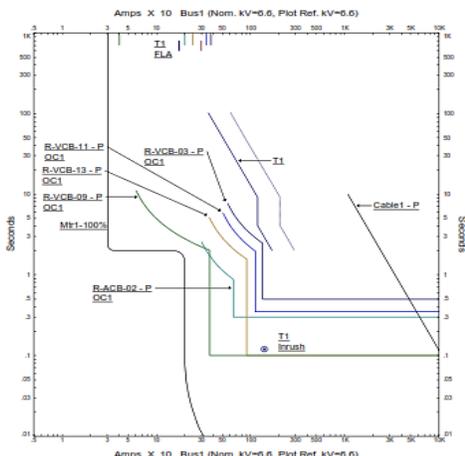
A. Sistem Pengaman PT. HESS Indonesia

Untuk melakukan pemodelan kurva *inverse*, dilakukan pengambilan data berupa data kurva *inverse* dari *rele* arus lebih. Pengambilan data dilakukan pada plan dari PT. HESS Indonesia menggunakan *software* ETAP 12.6. Gambar 1 merupakan *Single line Diagram* PT. HESS Indonesia.

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa terdapat tumpang tindih atau perpotongan antara kurva *rele* R-VCB-09 dan kurva *rele* R-ACB-02. Hal ini dapat membuat koordinasi proteksi menjadi tidak tepat. Untuk itu akan dilakukan pemodelan kurva standar menjadi non-standar pada kurva *rele* R-VCB-09



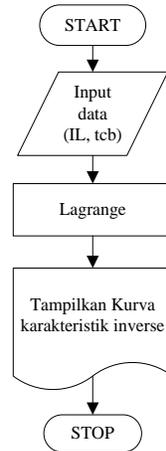
Gambar 1 Single Line Diagram PT. HESS



Gambar 2 Kurva *inverse rele* arus lebih PT. HESS

B. Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse Non-standar

Pada pemodelan kurva karakteristik *inverse* pada OCR data input yang digunakan yaitu data arus beban (IL) dan data waktu *trip*. Hasil dari *training* data akan berupa kurva karakteristik. *Flowchart* dari pemodelan kurva karakteristik *inverse* dengan interpolasi *lagrange* adalah sebagai berikut:

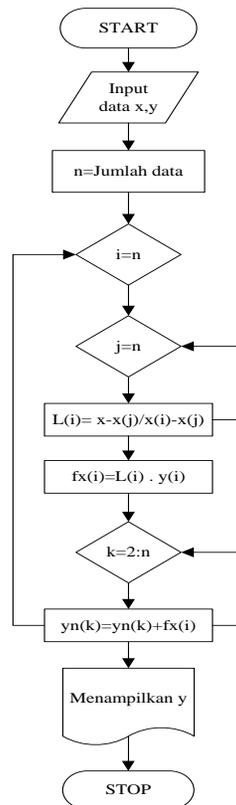


Gambar 3 *Flowchart* Pemodelan Kurva

C. Algoritma Interpolasi Lagrange

Langkah pertama dalam interpolasi *lagrange* adalah menetapkan jumlah titik yang diketahui. Untuk memasukkan titik yang diketahui dapat menggunakan dua array *x* dan *y* dengan jumlah data = jumlah titiknya. Dengan *x* merupakan nilai arus IL dan *y* adalah waktu *trip*.

Selanjutnya mencari nilai $L_i(x)$ sehingga diperlukan perulangan sebanyak jumlah titik yang diinputkan. $L_i(x)$ didapatkan dengan cara $Q_i(x)$ dibagi dengan $Q_i(x_i)$. $Q_i(x)$ merupakan hasil perkalian $(x-x_i)$, dengan x_i merupakan data yang diketahui, dan diperlukan perulangan sebanyak jumlah titik yang diinputkan untuk mencarinya. Setelah itu maka dapat dicari $L_i(x)$. Selanjutnya langkah terakhir mencari nilai *y* dengan mengalikan $L_i(x)$ dengan y_i .



Gambar 4 *Flowchart* Interpolasi Lagrange

D. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware rele* digital menggunakan *mikrokontroler ARM* sebagai *prototype*-nya. Selain *rele* dikendalikan dengan mikrokontroler, *rele* akan menampilkan arus IL dan waktu *trip* dengan tampilan LCD grafik 128 x 64. Berikut adalah tampilan mikrokontroler ARM yang akan digunakan sebagai *prototype rele* digital.



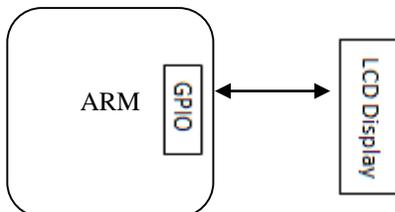
Gambar 5 Hardware Mikrokontroler ARM

LCD grafik 128 x 64 digunakan untuk menampilkan data *rele* dan untuk menunjukkan apakah *rele* sudah bekerja sesuai dengan besarnya arus gangguan yang terjadi. Berikut pada gambar 3.6 adalah rangkaian LCD grafik 128 x 64.



Gambar 6 Rangkaian LCD grafik 128x64

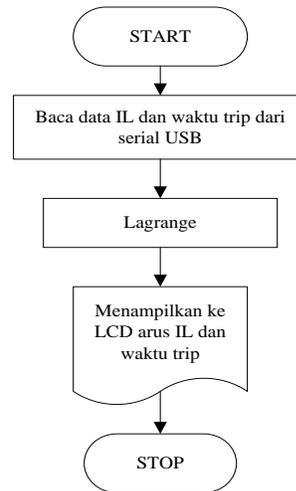
Gambar 3.7 menunjukkan *prototype rele* digital secara keseluruhan dengan LCD grafik terhubung ke *mikrokontroler ARM* melalui port *General-purpose input/output (GPIO)*. GPIO adalah pin generik pada sirkuit terpadu (*chip*) yang perilakunya (termasuk apakah pin itu input atau output) dapat dikontrol (diprogram) oleh pengguna saat berjalan.



Gambar 7 Prototype Rele Digital

E. Program Interpolasi Lagrange pada Rele Digital

Input yang diperlukan pada *rele* digital ini adalah arus beban IL. Input dari *rele* digital ini akan dikirim dan diterima menggunakan USB serial dan output ditampilkan pada LCD. *Flowchart* dari program interpolasi *lagrange* pada *rele* digital adalah sebagai berikut:



Gambar 8 Flowchart Program Lagrange di Mikrokontroler

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab IV ini akan dilakukan pengujian dan analisis yang meliputi pengujian simulasi program yang telah dibuat dengan menggunakan metode interpolasi *lagrange* dengan GUI pada *software MatLab*.

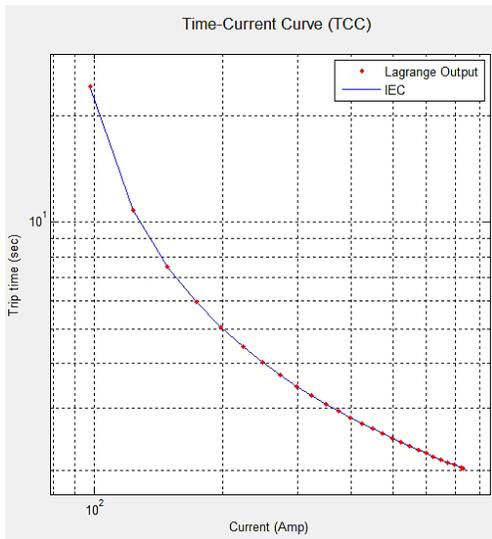
A. Pengujian Kurva Standar

Pengujian akan dilakukan dengan menguji kurva normal *inverse* dengan *men-training* hingga mendapat *error* terkecil. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah jumlah data input. Jumlah data input yang diuji mulai dari 10, 14, dan 27 data. Data *rele* yang akan di-*training* berupa data input arus IL. Selain data arus, akan dimasukkan data *tcb* atau waktu *trip* CB sebagai target *training*. Pada tabel 1 terdapat 27 jumlah data dengan jarak nilai antar datanya 25 yang merupakan data uji dengan jumlah data yang memiliki nilai *error* terkecil.

Tabel 1
Data Kurva Rele R-VCB-09 dengan 27 data input

No	IL (A)	t(s)	No	IL (A)	t(s)
1	95	28,494	14	420	2,719
2	120	11,531	15	445	2,626
3	145	7,769	16	470	2,543
4	170	6,092	17	495	2,468
5	195	5,134	18	520	2,402
6	220	4,508	19	545	2,342
7	245	4,066	20	570	2,287
8	270	3,734	21	595	2,237
9	295	3,475	22	620	2,190
10	320	3,267	23	645	2,148
11	345	3,095	24	670	2,108
12	370	2,950	25	695	2,072
13	395	2,826	26	720	2,037
			27	735	2,018

Dari gambar 9 didapatkan bentuk kurva interpolasi *lagrange* yang menindih tepat kurva konvensional. Dengan meningkatkan jumlah data input menjadi 27 dengan jarak nilai antar data 25 maka diperoleh nilai output yang baik. Tabel 2 merupakan *error* hasil pengujian dengan data input 27 data yang memiliki *error* terkecil yaitu 0,070191218 %.



Gambar 9 Kurva hasil simulasi pengujian dengan 27 data input

Tabel 2 Hasil pengujian dengan 27 data

No	IL (A)	t(s)	Lagrange	Error
1	98	23,837	24,244	1,7101
2	123	10,847	10,839	0,06579
3	148	7,503	7,504	0,00508
4	173	5,951	5,951	0,00061
5	198	5,045	5,045	0,0001
6	223	4,447	4,447	2,2E-05
7	248	4,021	4,021	6,1E-06
8	273	3,699	3,699	2,1E-06
9	298	3,448	3,448	8,4E-07
10	323	3,244	3,244	4,1E-07
11	348	3,076	3,076	2,3E-07
12	373	2,934	2,934	1,6E-07
13	398	2,813	2,813	1,2E-07
14	423	2,707	2,707	1,1E-07
15	448	2,615	2,615	1,2E-07
16	473	2,533	2,533	1,4E-07
17	498	2,460	2,460	2,1E-07
18	523	2,394	2,394	3,4E-07
19	548	2,335	2,335	6,8E-07
20	573	2,280	2,280	1,6E-06
21	598	2,231	2,231	4,5E-06
22	623	2,185	2,185	1,5E-05
23	648	2,143	2,143	6,6E-05
24	673	2,104	2,104	0,00037
25	698	2,067	2,067	0,00277
26	723	2,033	2,033	0,02502
27	732	2,022	2,020	0,0852

B. Pemodelan Kurva Non-Standar

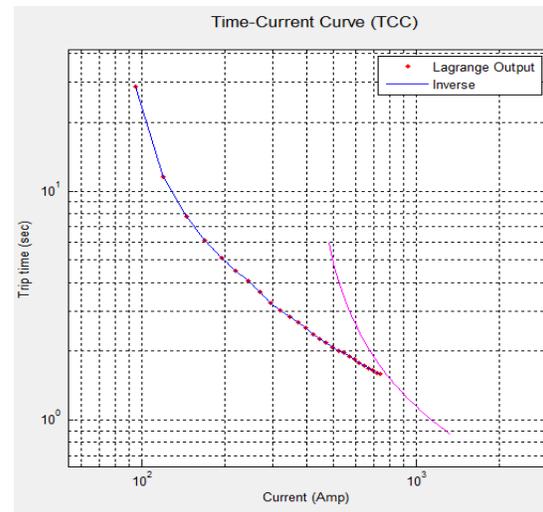
Tabel 3 adalah tabel yang berisi data kurva yang baru yang telah didesain oleh user yang akan digunakan sebagai data input untuk pemodelan kurva *inverse* non-standar.

Tabel 3 Data Kurva Non-Standar Rele R-VCB-09

No	IL (A)	t(s)	No	IL (A)	t(s)
1	95	28.494	14	420	2.365
2	120	11.531	15	445	2.259
3	145	7.769	16	470	2.175
4	170	6.092	17	495	2.088
5	195	5.134	18	520	2.015
6	220	4.508	19	545	1.964
7	245	4.066	20	570	1.896

8	270	3.637	21	595	1.843
9	295	3.251	22	645	1.734
10	320	3.02	23	670	1.686
11	345	2.833	24	720	1.611
12	370	2.672	25	735	1.588
13	395	2.527			

Gambar 10 adalah hasil simulasi pemodelan kurva dengan menggunakan data kurva yang baru. Dengan membuat membuat titik-titik data yang baru maka kurva non-standar dapat terbentuk, sehingga tidak terjadi perpotongan antara kurva satu dengan yang lainnya.



Gambar 10 Kurva hasil simulasi kurva non-standar

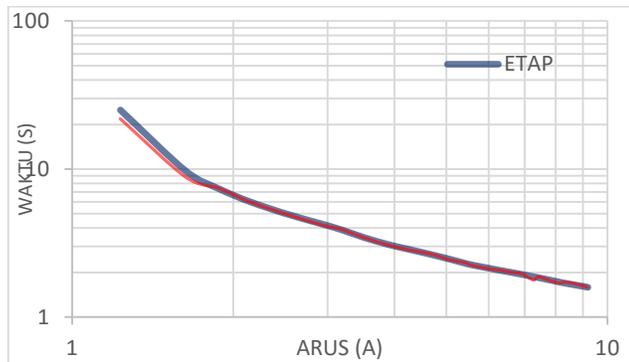
C. Pengujian Hardware

Pada bagian ini, akan dilakukan pengujian kurva non-standar pada *hardware*, yaitu prototipe *Digital Protection Relay* berbasis *mikrokontroler* yang dilengkapi dengan LCD grafik. Pengujian dilakukan dengan menginjeksikan arus beban menggunakan *current injection* sehingga didapatkan waktu *trip* pada prototipe *rele* digital. Karena elemen *sensing* pada prototipe *rele* digital hanya dapat mendeteksi arus hanya sampai 10 A, maka arus beban yang diinjeksikan adalah arus beban yang melewati sisi sekunder CT dengan rasio CT yang digunakan 80:1. Data kurva non-standar tabel 3 diubah kebesaran pada sisi sekunder CT seperti pada tabel 4 yang kemudian di-*download* kedalam prototipe *rele* arus lebih digital bersama dengan program interpolasi *lagrange*.

Tabel 4 Data kurva non-standar sisi sekunder CT

No	IL (A)	t(s)	No	IL (A)	t(s)
1	1.19	28.494	14	5.25	2.365
2	1.5	11.531	15	5.56	2.259
3	1.81	7.769	16	5.88	2.175
4	2.13	6.092	17	6.19	2.088
5	2.44	5.134	18	6.5	2.015
6	2.75	4.508	19	6.81	1.964
7	3.06	4.066	20	7.13	1.896
8	3.38	3.637	21	7.44	1.843
9	3.69	3.251	22	8.06	1.734

10	4	3.02	23	8.38	1.686
11	4.31	2.833	24	9	1.611
12	4.63	2.672	25	9.19	1.588
13	4.94	2.527			



Gambar 11 Perbandingan Kurva Non-standar ETAP dengan Hardware

Tabel 5
Hasil Pengujian prototipe rele digital

No	IL (A)	ETAP (s)	HARDWARE (s)	Error (%)
1	1.23	25	21.885	12.460
2	1.63	9.68	8.835	8.729
3	1.88	7.35	7.44	1.224
4	2.14	6.04	6.045	0.083
5	2.5	5	4.995	0.100
6	2.92	4.26	4.215	1.056
7	3.18	3.89	3.93	1.028
8	3.52	3.43	3.435	0.146
9	3.88	3.1	3.09	0.323
10	4.14	2.93	2.91	0.683
11	4.51	2.73	2.745	0.549
12	4.77	2.6	2.625	0.962
13	5.07	2.46	2.445	0.610
14	5.41	2.31	2.34	1.299
15	5.61	2.24	2.235	0.223
16	6.07	2.12	2.115	0.236
17	6.28	2.07	2.085	0.725
18	6.62	2	2.01	0.500
19	6.92	1.94	1.965	1.289
20	7.28	1.87	1.785	4.545
21	7.44	1.843	1.875	1.736
22	8.06	1.734	1.71	1.384
23	8.38	1.686	1.725	2.313
24	9	1.611	1.635	1.490
25	9.19	1.588	1.59	0.126

Dari data pada tabel 5 dan gambar 11 diatas menunjukkan bahwa kurva hasil pengujian pada prototipe rele arus lebih digital dapat mengikuti kurva non-standar hasil penerapan di ETAP. Namun masih memiliki nilai error walaupun sangat kecil dan tidak terlalu jauh, dengan rata-rata error = 1.753 %.

Dari pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa pemodelan kurva karakteristik *inverse* non-standar dapat dilakukan dengan menggunakan metode Interpolasi *Lagrange*. Dimana metode ini melakukan *training* data kurva non-standar dengan membuat titik-titik data baru sehingga kurva tidak berpotongan dengan kurva *inverse* pada *rele* arus lebih lainnya. Karena pemodelan kurva non-standar tidak ditentukan oleh persamaan lagi untuk menghitung waktu *trip*, tetapi kurva didesain oleh *user*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada pengujian pemodelan kurva standar, jika semakin besar jumlah data input maka tingkat keakuratan semakin baik, seperti pada tabel 2.
2. Pada pengujian pemodelan kurva standar jumlah data dengan tingkat keakuratan paling baik adalah 27 dengan nilai *error* terkecil sebesar 0,070191, seperti hasil yang ditunjukkan pada gambar 9.
3. Pemodelan kurva non-standar tidak ditentukan oleh persamaan lagi untuk menemukan waktu *trip*, karena kurva didesain oleh *user* dengan cara membuat titik-titik data baru.
4. Pemodelan kurva karakteristik non-standar dapat dilakukan dengan membuat titik-titik data yang baru dan dapat diterapkan pada ETAP.
5. Hasil pengujian prototipe *rele* arus lebih digital menunjukkan hasil yang mendekati dengan data target pada ETAP dengan rata-rata *error* = 1.753 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moch Harun Arrosyid, Pemodelan Kurva Karakteristik *Inverse* Over Current Relay oleh *User* Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, Tugas Akhir Teknik Elektro PENS, Surabaya, 2011.
- [2] Anang Tjahjono, Dimas Okky Anggriawan, Ardyono Priyadi, Margo Pujiantara and Mauridhi Hery Purnomo, Overcurrent Relay Curve Modeling and Its Application in the Real Industrial Power Systems Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, ITS, Surabaya, 2015.
- [3] Anang Tjahjono, Ardyono Priyadi, Margo Pujiantara and Mauridhi Hery Purnomo, Overcurrent Relay Curve Modeling Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, ITS, Surabaya, 2014.
- [4] "Studi Koordinasi Proteksi *Rele* Arus Lebih dengan Metode Karakteristik *Tripping* Non-Standar pada Jaringan 150kV dan 20kV PT.PLN (Persero) APJ Gilimanuk" Tugas Akhir Teknik Elektro ITS 2013.
- [5] Supriyanto. "Interpolasi *Lagrange*", Lab. Komputer, Departemen Fisika, Universitas Indonesia