

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengantar

Pengujian prototipe relai arus lebih dengan waktu tunda tertentu ini berguna untuk mengetahui kinerja dari relai hasil rancangan. Hasil pengujian prototipe relai ini diperlukan untuk menentukan apakah prototipe relai ini memenuhi syarat-syarat fundamental dari sistem proteksi. Adapun pengujian–pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Pengujian komponen relai
2. Pengujian setting arus relai
3. Pengujian waktu tunda relai
4. Pengujian konsumsi daya relai
5. Perbandingan relai digital dengan relai analog

Untuk memastikan setiap komponen relai telah bekerja dengan baik, maka pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian komponen relai. Hal terpenting yang diperhatikan dalam pengujian ini adalah linieritas pembacaan arus, yang dapat dilihat dari hasil pengolahan data pembacaan. Pengujian ini dilakukan pada dua komponen relai yakni : pengkondisi arus dan pembacaan ADC oleh mikrokontoler.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian setting arus relai, pengujian setting arus relai adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah prototipe relai proteksi hasil rancangan bekerja pada setiap arus setting-nya, yang mana arus setting merupakan arus *pick up* (arus yang membuat relai bekerja) yang diset pada relai. Pengujian setiap I_{set} dilakukan sebanyak 25 kali untuk masing – masingnya.

Pengujian waktu tunda relai adalah pengujian yang memperlihatkan ketepatan waktu tunda relai bila terjadi gangguan. Pengujian ini penting dilakukan karena relai arus lebih dengan karakteristik *definite* harus mempunyai respon kerja selama waktu yang ditentukan.

Pengujian stabilitas kerja relai merupakan pengujian untuk mengetahui protipe relai hasil rancangan bekerja stabil pada arus settingnya dengan penundaan waktu yang ditentukan.

Pengujian berikutnya adalah pengujian konsumsi daya relai, pengujian ini untuk mengetahui berapa besar daya yang digunakan relai ketika relai tersebut bekerja. Pengujian dilakukan dengan mengukur arus yang mengalir pada relai.

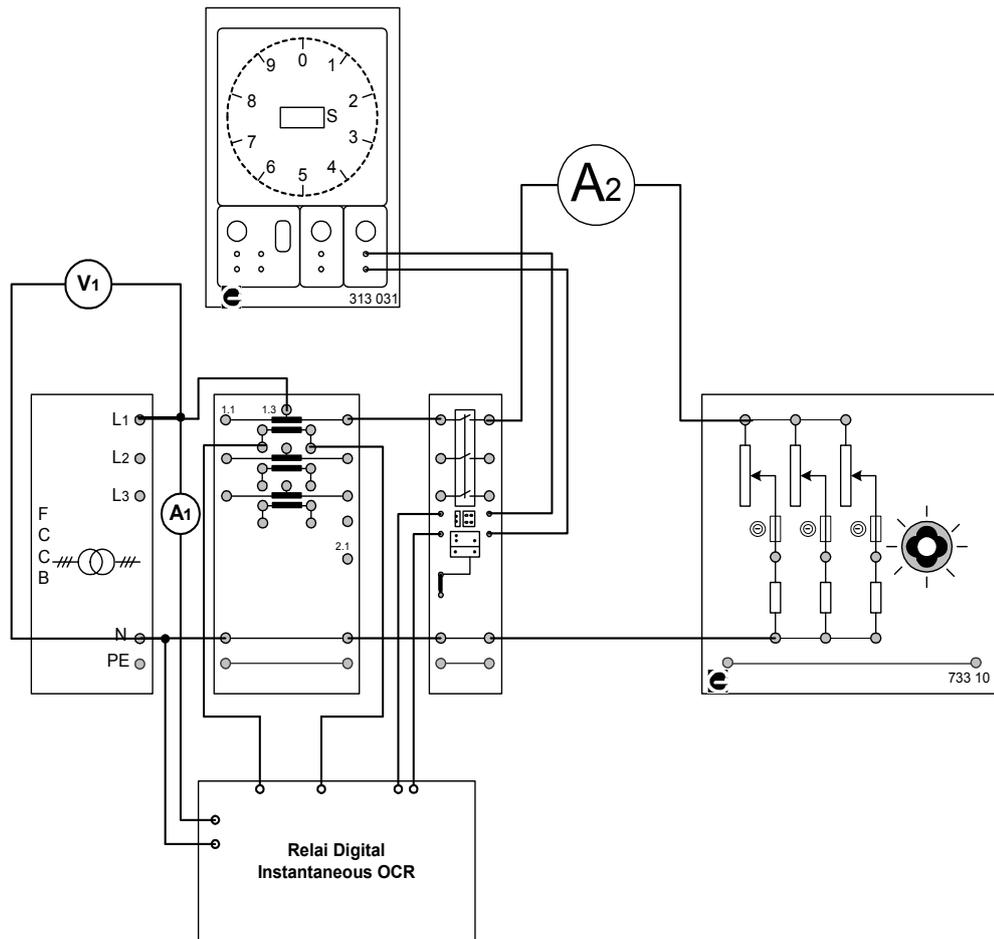
Setelah seluruh pengujian selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan perbandingan relai hasil rancangan dengan peralatan relai yang ada di laboratorium LSTDE dengan tujuan mengetahui perbedaan ketepatan waktu tunda yang telah ditentukan.

Pengujian – pengujian tersebut merupakan pengujian yang bersifat menilai dan merupakan pengujian standar yang harus dilewati oleh relai proteksi. Dari semua data hasil pengujian yang dilakukan akan diolah sedemikian rupa kemudian dianalisa.

Rangkaian pengujian menggunakan peralatan laboratorium yang terdapat pada Laboratorium Sistem Tenaga dan Distribusi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas dengan menggunakan peralatan sebagai berikut :

- ✓ *Power Supplay* 3-fasa – (726 75)
- ✓ 3-fasa Transformator Arus (Rasio 5:1) – (745 12)
- ✓ Beban Resistif – (733 10)
- ✓ *Electronic Stop Clock* - (313 031)
- ✓ Pemutus Tenaga (CB) – (745 561)
- ✓ Ampermeter (A_2) – (727 32)
- ✓ Ampermeter digital (A_1)
- ✓ Voltmeter(V_1) – (727 38)

Kesemua pengujian dimaksud menggunakan rangkaian pengujian yang sama seperti yang terlihat pada gambar 5.1 dibawah ini.



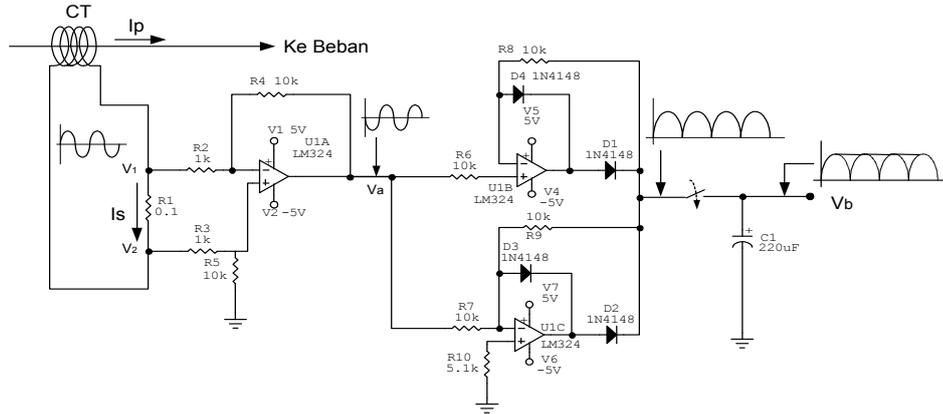
Gambar 5.1. Rangkaian pengujian prototipe relai.

5.1 Pengujian Komponen Relai

Pengujian ini dilakukan pada rangkaian pengkondisi arus dan pembacaan ADC oleh mikrokontroler seperti yang telah dijelaskan pada sub bab pengantar diatas. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kelinearan dan kestabilan rangkaian pengkondisi arus . Pada komponen pengkondisi arus yang dilakukan adalah mengukur arus sisi primer CT (I_p), arus sisi sekunder CT (I_s), tegangan keluaran rangkaian penguat selisih tegangan (V_a), dan tegangan keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh (V_b), seperti yang terlihat dalam gambar 4.2. Sedangkan pada pembacaan ADC, pembacaan dilakukan dengan cara melihat hasil pembacaan ADC *on-chip* mikrokontroler AT90S8535 yang bisa ditampilkan pada monitor komputer.

4.2.1 Pembacaan / pengkondisian Arus

Pengujian dilakukan seperti skema lengkap rangkaian pengkondisian arus yang terlihat pada gambar 5.2. Dalam gambar tersebut dapat dilihat bentuk sinyal masukan dan keluaran untuk setiap tahapan proses pembacaan.



- I_p : Arus primer CT
- I_s : Arus sekunder CT
- V_a : Tegangan keluaran rangkaian penguat selisih tegangan
- V_b : Tegangan keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh

Gambar 5.2. Rangkaian lengkap pembacaan arus dan bentuk gelombangnya

Pada tahap pengkondisian arus, terjadi proses perubahan besaran arus menjadi besaran tegangan oleh rangkaian pengkondisi arus. Hal ini bertujuan agar keluaran dari komponen relai ini dapat dijadikan sebagai input bagi mikrokontroler yang digunakan. Hasil pengujian rangkaian tersebut, secara lengkap dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut :

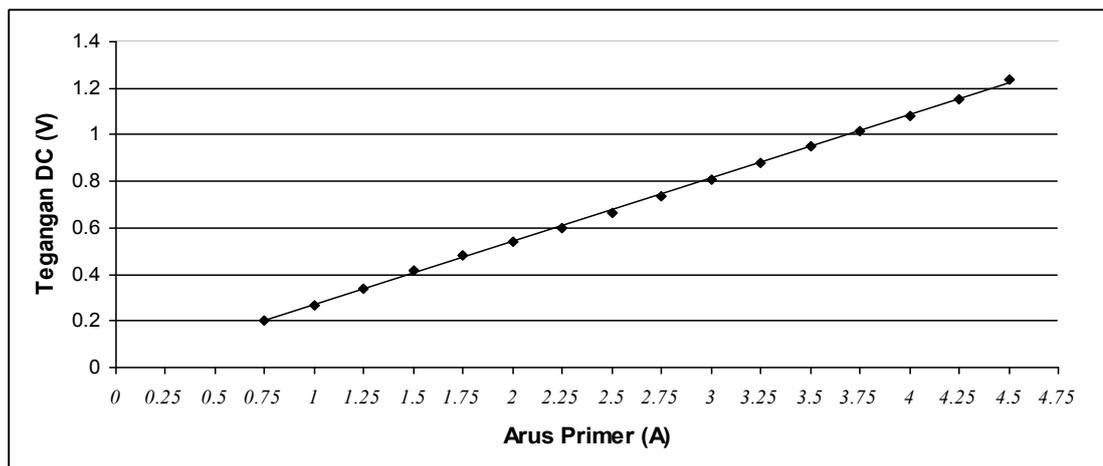
Tabel 5.1 : Hasil Pengukuran Rangkaian Pembacaan Arus

I_p (A)	I_s (A)	V_a (V)	V_b (V)
0.75	0.15	0.138	0.204
1.00	0.20	0.184	0.269
1.25	0.26	0.235	0.341
1.50	0.31	0.288	0.415
1.75	0.36	0.337	0.484
2.00	0.40	0.375	0.538
2.25	0.45	0.419	0.601

- I_p : Arus pada primer CT
- I_s : Arus pada sekunder CT
- V_a : Tegangan keluaran rangkaian penguat selisih tegangan
- V_b : Tegangan keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh

2.50	0.49	0.463	0.662
2.75	0.55	0.516	0.739
3.00	0.60	0.567	0.810
3.25	0.64	0.619	0.880
3.50	0.69	0.669	0.953
3.75	0.74	0.714	1.018
4.00	0.79	0.760	1.083
4.25	0.85	0.812	1.153
4.50	0.89	0.863	1.239

Pada rancangan relai ini yang yang harus diperhatikan adalah kesetaraan dan kelinieran antara I_p dengan V_b .



Gambar 5.3 Kurva hubungan arus beban terhadap tegangan keluaran rangkaian pembacaan arus

Dari pengolahan data dan visualisasi grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 memperlihatkan hubungan antara I_p dengan V_b yang mendekati linier, hal ini disebabkan karena rangkaian pembacaan arus yang digunakan hanya menggunakan rangkaian – rangkaian dasar op-amp yakni rangkaian penguat selisih tegangan dan rangkaian penyearah gelombang penuh, namun menunjukkan kinerja hasil pembacaan yang stabil dan mendekati linier. Apabila digunakan IC khusus sebagai sensor dan transduser arus maka akan didapat hasil pembacaan yang lebih akurat, namun IC jenis ini sangat sulit ditemukan dipasaran serta tidak dijual untuk penggunaan pribadi.

4.2.2 Pembacaan ADC oleh AT90S8535

Pada tahapan pembacaan ADC oleh mikrokontroler ini terjadi pengkonversian besaran tegangan keluaran rangkaian pembacaan arus menjadi besaran digital dengan menggunakan ADC yang terdapat dalam mikrokontroler AT90S8535. Rangkaian pengujian yang digunakan seperti terlihat pada gambar 3.10. Dalam gambar terlihat penggunaan CT (ratio 5:1), beban resistif dan relai dihubungkan ke komputer.

Salah satu cara pengujian dilakukan dengan menaikkan beban resistif secara perlahan – lahan kemudian dilihat hasil pembacaan ADC pada layar komputer. Komputer melakukan pengolahan dan manipulasi bit data pembacaan ADC mikrokontroler dan menampilkan dalam bentuk bilangan hexadesimal, Pengujian ini dilakukan berulang – ulang untuk melihat kestabilan dan kelinieran hasil pembacaan ADC ini. Nilai–nilai setting ini akan digunakan juga pada badan program mikrokontoler dalam bentuk hexadesimal.

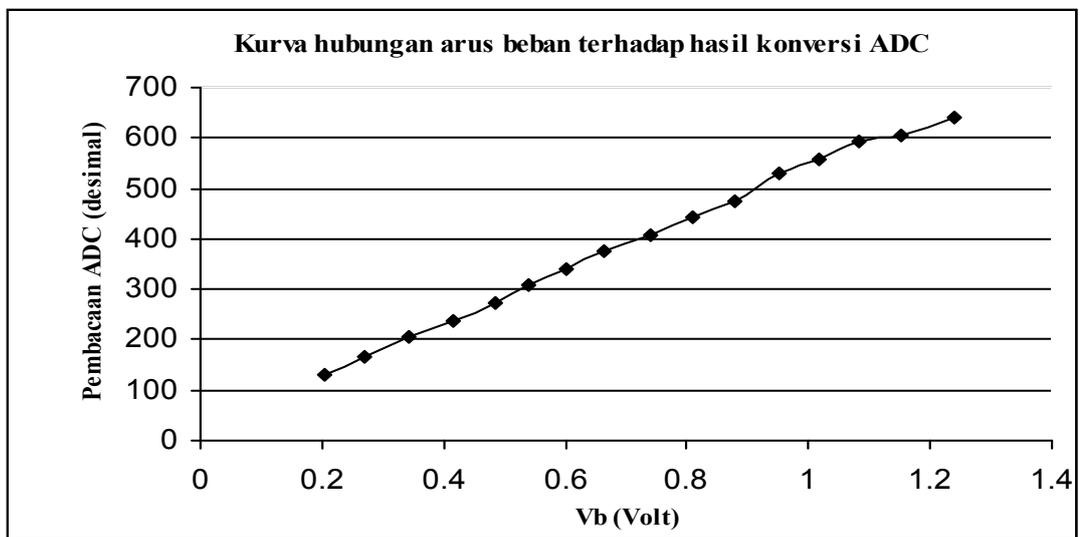
Proses kalibrasi yang telah dilakukan didapat hasil pembacaan Vb dalam nilai digital (heksa dan desimal) seperti yang terdapat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 : Hasil konversi hasil pembacaan arus oleh ADC AT90S8535

Vb (Volt)	Hasil pembacaan ADC (heksa)	Hasil pembacaan ADC (desimal)	Vb : Tegangan keluaran rangkaian pembacaan arus.
0.204	0084	132	
0.269	00A8	168	
0.341	00CC	204	
0.415	00EE	238	
0.484	0112	274	
0.538	0135	309	
0.601	0154	340	
0.662	0176	374	
0.739	0198	408	
0.810	01B9	441	
0.880	01D9	473	

0.953	0213	531
1.018	022E	558
1.083	0253	595
1.153	025C	604
1.239	027F	639

Jika data pada tabel di atas diolah dalam bentuk grafik, maka hasilnya dapat dilihat seperti ditunjukkan pada gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Kurva hubungan arus beban terhadap tegangan keluaran rangkaian pembacaan arus

Grafik hasil pembacaan ADC gambar 5.4 menunjukkan nilai mendekati linier, yang berarti pembacaan ADC mikrokontroler AT90S8535 stabil pada rancangan relai ini.

Penggunaan ADC *on-chip* yang terdapat pada mikrokontroler AT90S8535 dengan ketelitian 10 bit menunjukkan kinerja konversi yang baik serta menghasilkan nilai konversi yang akurat. Pada umumnya, sangat jarang mikrokontroler yang menyertakan ADC yang terintegrasi dalam chipnya. Sedangkan chip ADC yang ada dipasaran mempunyai ketelitian 8 bit. Untuk chip ADC dengan ketelitian yang lebih dari 8 bit sangat sulit ditemukan. Untuk sebuah

aplikasi digital, ADC dengan ketelitian tinggi dibutuhkan sehingga didapat hasil yang lebih baik.

5.2 Pengujian Setting Relai

Pengujian dilakukan dengan skema seperti yang terlihat pada gambar 5.1. Adapun tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui $I_{pick-up}$ pada setiap setting relai. Walaupun pada proses kalibrasi nilai $I_{pick-up}$ untuk setiap setting sudah diketahui namun perlu dilakukan pengujian untuk masing-masingnya.

Pada pengujian ini akan dilihat penyimpangan $I_{pick-up}$ yang telah ditentukan. Untuk mencapai tujuan yang dimaksud maka pengujian untuk setiap setting dilakukan minimum sebanyak 25 kali untuk masing – masingnya, supaya didapat hasil yang lebih representatif.

Prosedur kerja pada pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Rangkai alat seperti gambar 5.1.
2. Atur setting arus relai dengan mensetting I_{set} dari nilai yang terendah (0.75 A) sampai nilai yang tertinggi (4.5 A).
3. Setiap perubahan setting yang dilakukan relai harus direset.
4. Operasikan relai dengan menekan tombol start dan naikan beban resistif secara perlahan – lahan hingga relai berkerja. Catat arus yang terbaca pada A_2 saat relai bekerja.
5. Lakukan percobaan ini sebanyak 25 kali untuk setiap settingnya..

Data hasil pengujian setting relai ini diolah dan didapatkan $I_{pick up}$ rata – rata untuk setiap setting relai dan penyimpangannya data lengkap pengujian dapat dilihat pada lampiran .

Hasil pengolahan data pengujian ini dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut ini :

Tabel 5.3 : Hasil Pengujian Setting Relai

Posisi Switch Setting (0 – off, 1 – on)	I_{set} (A)	$\overline{I_p}$ (A)	δ (A)	$I_{pick-up (min)}$ (A)
0000	0.75	0.7704	0.0007	0.7697
0001	1.00	1.0346	0.0025	1.0321

I_{set} : Arus setting relai
 $\overline{I_p}$: Arus pick-up rata – rata.

0010	1.25	1.2756	0.0058	1.2698
0011	1.50	1.5244	0.0038	1.5206
0100	1.75	1.7820	0.0076	1.7744
0101	2.00	2.0676	0.0151	2.0525
0110	2.25	2.2856	0.0038	2.2818
0111	2.50	2.5344	0.0158	2.5186
1000	2.75	2.7796	0.0095	2.7701
1001	3.00	3.0376	0.0028	3.0347
1010	3.25	3.2696	0.0027	3.2669
1011	3.50	3.5684	0.0073	3.5611
1100	3.75	3.7764	0.0112	3.7652
1101	4.00	4.0512	0.0049	4.0265
1110	4.25	4.2796	0.0049	4.2747
1111	4.50	4.5664	0.0204	4.5460

δ : Besar
penyimpangan
arus pick-up.

Dalam tabel 5.3 terlihat *Ipick-up* rata – rata dan penyimpangannya. Sehingga didapat *Ipick-up* minimum untuk setiap settingnya.

Dari pengujian didapat selisih nilai *Ipick-up minimum* terbesar pada setting 3.5 A, yaitu 0.06 A, hal ini disebabkan adanya penyimpangan saat pengambilan data pengujian namun keadaan ini tidak mempengaruhi kerja relai, karena secara rata – rata relai bekerja diatas nilai settingnya. Hal ini menunjukkan relai bekerja bila arus gangguan besar dari Iset.

Pada rancangan ini hanya digunakan 16 macam setting dengan kenaikan 0.25 amper. Dengan kemampuan yang dimiliki oleh mikrokontroler ini jumlah setting dapat ditambah jumlahnya sehingga dapat tingkatkan kenaikan setting yang lebih representatif dan aplikatif.

5.3 Pengujian Waktu Tunda Relai

Pengujian dasar berikutnya adalah pengujian waktu tunda relai, pengujian ini adalah pengujian lama waktu tunda yang dibutuhkan relai untuk bekerja (trip) setelah *I pick-up* tercapai. Pengujian ini dilakukan untuk setiap setting waktu, dan diuji pada salah satu setting arus saja yaitu: 0.75 A. Pengujian dilakukan sebanyak

25 kali untuk setiap setting waktu untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif. Pengujian ini dilakukan dengan prosedur kerja sebagai berikut :

1. Prosedur kerja pertama ini sama dengan prosedur kerja 1, 2, dan 3 pada pengujian setting relai,
2. Sebelum mengoperasikan relai, atur arus jaringan (gangguan) di atas nilai setting arus dengan cara menaikkan beban. Matikan suplay tanpa mengubah posisi beban.
3. Atur setting waktu relai dari nilai terendah (0.5 detik) sampai nilai tertinggi (4 detik), dengan kenaikan 0.5 detik.
4. Hidupkan *Electronic Stop Clock*, kemudian tekan reset.
5. Operasikan relai dengan menekan tombol start.
6. Hidupkan CB maka relai langsung trip dan *Electronic Stop Clock* akan bekerja dan berhenti sejalan dengan membukanya saklar CB.
7. Catat waktu trip yang terlihat pada *Electronic Stop Clock*.

Dari hasil pengujian waktu tunda relai, didapatkan data waktu kerja relai seperti terlihat pada tabel 5.4. Pada tabel terlihat ukuran waktu tunda kerja relai untuk masing – masing settingnya. Kemudian dari pengolahan data tersebut didapat waktu rata – rata dan penyimpangannya.

Dibawah ini merupakan table 5.4 yang memperlihatkan data hasil pengujian tersebut.

Table 5.4. Hasil pengujian waktu tunda relai *definite OCR*

Posisi Switch Setting (0 – off, 1 – on)	Tset (s)	$\overline{T_p}$ (s)	δ (s)	$T_{pick-up}$ (min) (s)
0000	0.5	0.500	0.004	0.496
0001	1.0	1.005	0.007	0.998
0010	1.5	1.514	0.003	1.511
0011	2.0	2.013	0.006	2.007
0100	2.5	2.511	0.005	2.506
0101	3.0	3.017	0.004	3.013
0110	3.5	3.520	0.006	3.514
0111	4.0	4.020	0.006	4.014

Tset : Waktu setting relai

$\overline{T_p}$: Waktu pick-up rata – rata.

δ : Besar penyimpangan waktu pick-up.

Dari tabel diatas dapat dilihat waktu tunda pik-up rata-rata untuk setiap setting dan penyimpangannya. Dan didapatkan nilai waktu *pik-up minimum* untuk setiap setting waktu tunda relai.

Dari pengujian didapatkan selisih waktu tunda terbesar pada setting 3 dan 4 detik, yaitu sebesar 0,02 detik. Selisih ini ini tidak terlalu besar dan dapat diabaikan, selisih ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya waktu yang dibutuhkan oleh PMT untuk dapat trip, dan karena pendekatan dan pembulatan pada penyettingan data base waktu.

◆ Pengujian karakteristik relai

Pengujian ini dilakukan untuk melihat karakteristik relai hasil rancangan, apakah relai memiliki waktu tunda yang tetap jika diberikan arus yang bervariasi.

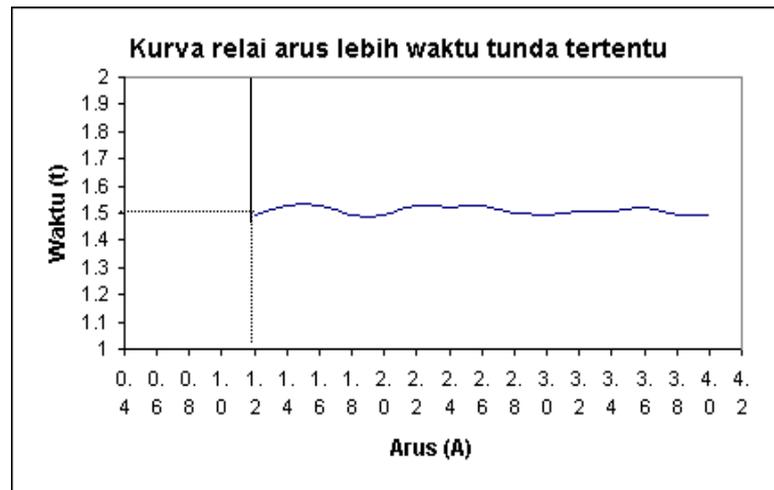
Percobaan dilakukan dengan bervariasi arus di atas nilai setting, dengan setting waktu tunda tetap, yaitu sebesar 1.5 detik. Data pengujian dan kurva karakteristik relai dapat dilihat pada gambar 5.5 berikut:

$$T_{set} = 1.5 t$$

$$I_{set} = 1$$

A

Arus (A)	Waktu (t)
1.2	1.49
1.4	1.53
1.6	1.53
1.8	1.49
2.0	1.49
2.2	1.53
2.4	1.52
2.6	1.53
2.8	1.5
3.0	1.49
3.2	1.51
3.4	1.51
3.6	1.52
3.8	1.49
4.0	1.49



Gambar 5.5 karakteristik relai arus lebih dengan waktu tunda tertentu

Dari data dan kurva karakteristik relai arus lebih dengan waktu tunda tertentu di atas, terlihat bahwa relai memiliki waktu tunda yang mendekati nilai konstan pada waktu 1.5 detik. Penyimpangan yang terjadi tidak terlalu besar, sehingga dapat dikatakan relai hasil rancangan memiliki ketepatan waktu yang baik.

Pada perancangan prototipe relai arus lebih dengan waktu tunda tertentu ini, terlihat bahwa proses pengambilan keputusan dilakukan dengan cepat dan tepat sesuai dengan waktu setting. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja relai ini bisa diandalkan.

5.4 Perbandingan Relai Digital Dengan Relai Analog

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan lama waktu tunda antara relai digital hasil rancangan dengan relai analog. Relai analog yang digunakan adalah peralatan relai pada laboratorium LSTDE. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan cara memberikan arus gangguan yang sama besar pada kedua relai.

Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.5: perbandingan relai analog vs digital

Nilai Seting (A)	Waktu Rata-rata (t)		Selisih (t)
	Analog	Digital	
0.5	0.562	0.50	0.062
1.0	1.085	1.015	0.070
1.5	1.594	1.511	0.083
2.0	2.096	2.016	0.080
2.5	2.591	2.515	0.076
3.0	3.102	3.013	0.089
3.5	3.612	3.513	0.099
4.0	4.106	4.017	0.089

Dari data pada tabel dapat dilihat perbedaan waktu tunda yang cukup besar antara relai hasil rancangan dengan relai analog, yaitu sekitar 0.09 detik. Dari perbedaan yang diperoleh dapat dikatakan bahwa relai hasil rancangan memiliki ketepatan waktu yang cukup baik.

5.5 Pengujian Konsumsi Daya

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konsumsi daya yang dibutuhkan oleh relai saat beroperasi. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang mengalir ketika relai beroperasi.

Hasil pengukuran tegangan dan arus sebagai berikut :

Tegangan (V_1) : 220 V

Arus (A_1) : 11.372 mA

Daya yang digunakan : 2.501 VA

Hasil pengujian menunjukkan relai ini mengkonsumsi sedikit daya untuk beroperasi. Hal ini menunjukkan bahwa relai hasil rancangan bersifat ekonomis dan sederhana, sesuai dengan syarat fundamental sistem proteksi yaitu harus ekonomis dan sederhana.