

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Data Gardu Induk Bandung Utara

Gardu Induk Bandung Utara memiliki 2 Rel 150 kV yang bersumber dari Gardu Induk Padalarang dan Gardu Induk Dago Pakar. Kedua rel tersebut mensuplai 4 buah trafo tenaga berkapasitas 60 MVA dengan tegangan kerja 150/20 kV, keempat trafo tenaga ini kemudian mengisi tegangan ke busbar 20 kV.

**Tabel 3.1 Data MVA Short Circuit 3 Phasa**

V (kV)	MVA SC 1 PHASA
150	2789.76

Data hubung singkat GI. Bandung Utara diperoleh melalui proses pengukuran hubung singkat pada seluruh peralatan di gardu induk. Data hubung singkat pada tabel 3.1 digunakan untuk mencari impedansi sumber di sisi 150 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan gubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber di sisi 150 kV harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguannya sudah menggunakan sumber 20 kV.

#### 3.2 Data Trafo III Gardu Induk Bandung Utara

Tabel 3.2 merupakan data trafo III pada GI. Bandung Utara, trafo III memiliki daya sebesar 60 MVA, dengan impedansi = 12,13%, netral trafo tenaga ini ditanahkan melalui tahanan 12 Ohm. Tabel 3.2 digunakan untuk mencari nilai Ohm pada keadaan trafo 100%, reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dan reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ). Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data belitan pada trafo tenaga III, belitan yang digunakan pada trafo yaitu YNyn0 + d Untuk trafo tenaga dengan

hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan.

**Tabel 3.2 Data Trafo III GI. Bandung Utara**

Trafo III	
Merk	SIEMENS
Tipe	TLSN 7852
S/N	D416375
Op. Year	2004
Made	-
V.Group	YNyn0 + d
Kapasitas	60 MVA
Kapasitas Delta	20 MVA
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Impedansi	12.13 %
NGR	12 Ohm

### 3.3 Data Penyulang Nort Dago Jingga (NDJ)

Tabel 3.3 merupakan data jenis kabel pada penyulang NDJ, berdasarkan data dari APD Jawa Barat dan Banten, penyulang NDJ memakai jenis kabel SKTM yakni NA2XSEBY dan PILC, dalam perhitungan impedansi penyulang kabel NA2XSEBY dan PILC digantikan oleh kabel AL, hal ini dikarenakan APD Jawa Barat dan Banten tidak memiliki *datasheet* impedansi positif, negatif dan impedansi nol kabel NA2XSEBY dan PILC. Pemilihan kabel pengganti didasarkan oleh ukuran diameter dan karakteristik inti kabel NA2XSEBY dan PILC. Selanjutnya tabel 3.5 digunakan sebagai acuan dalam pembuatan grup sambungan.

**Tabel 3.3 Data Jenis Kabel pada Penyulang NDJ**

No.	Kabel Utama	Ukuran	Kabel Pengganti	Ukuran
1.	NA2XSEBY	$3 \times 150 \text{ mm}^2$	AL	$3 \times 150 \text{ mm}^2$
2.	NA2XSEBY	$3 \times 240 \text{ mm}^2$	AL	$3 \times 240 \text{ mm}^2$
3.	NA2XSEBY	$3 \times 300 \text{ mm}^2$	AL	$3 \times 300 \text{ mm}^2$
4.	PILC	$3 \times 150 \text{ mm}^2$	AL	$3 \times 150 \text{ mm}^2$

Tabel 3.4 digunakan untuk mempermudah proses perhitungan impedansi jaringan, hal ini dikarenakan pada penyulang NDJ terdapat 18 sambungan, pembuatan grup pada penyulang NDJ didasarkan kepada diameter kabel AL. Grup 1 merupakan kelompok dengan diameter kabel  $150 \text{ mm}^2$ , selanjutnya grup 2 dengan diameter kabel  $240 \text{ mm}^2$ , grup 3 menggunakan kabel dengan diameter  $150 \text{ mm}^2$ , kemudian grup 4 diameter kabel yang digunakan  $240 \text{ mm}^2$ , grup 5 dengan diameter kabel  $150 \text{ mm}^2$ , grup 6 terdiri dari kabel berdiameter  $240 \text{ mm}^2$ , grup 7 menggunakan kabel dengan diameter  $150 \text{ mm}^2$ , grup 8 menggunakan kabel dengan diameter  $240 \text{ mm}^2$ , selanjutnya grup 9 dengan diameter kabel  $150 \text{ mm}^2$ , grup 10 terdiri dari kabel berdiameter  $240 \text{ mm}^2$ , kemudian grup 11 diameter kabel yang digunakan  $300 \text{ mm}^2$ , grup 12 dengan diameter kabel  $240 \text{ mm}^2$ , grup 13 dengan diameter kabel  $150 \text{ mm}^2$ , grup 14 dengan diameter kabel  $240 \text{ mm}^2$ , grup 15 dengan diameter kabel  $150 \text{ mm}^2$ , grup 16 dengan diameter kabel  $240 \text{ mm}^2$ , grup 17 dengan kabel berdiameter  $150 \text{ mm}^2$ , dan grup 18 dengan diameter kabel  $240 \text{ mm}^2$ .

**Tabel 3.4 Data Grup Sambungan pada Penyulang NDJ**

No. Group	Gardu		Panjang Penyulang
	Awal	Akhir	
1.	A	BCAS	1.0 Km
2.	BCAS	TSB	1.2 Km
3.	TSB	HHS	2.1 Km
4.	HHS	MPD01	0.037 Km
5.	MPD01	UPJ04	0.652 Km
6.	UPJ	STT04	1.111 Km
7.	STT	BM	0.958 Km
8.	BM	BBR	0.135 Km
9.	BM	EEP2	1.030 Km
10.	EEP2	EEP1	0.214 Km
11.	EEP1	DKL1	0.179 Km
12.	DKL1	DPZ1	0.315 Km
13.	DPZ1	DPZ	0.046 Km
14.	BB	BKS	0.064 Km
15.	DPZ	ABT1	0.173 Km
16.	ABT1	GLL1	0.094 Km
17.	GLL1	BIPA1	0.675 Km
18.	BIPA1	DAGO	1.156 Km

Tabel 3.5 digunakan untuk menghitung impedansi ekuivalen penyulang. Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif ( $Z_{1eq}$ ), negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan impedansi nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber. Impedansi ekuivalen penyulang yang akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari jenis kabel yang digunakan.

Impedansi yang terbentuk dari sumber ke titik gangguan adalah tersambung seri, maka perhitungan ( $Z_{1eq}$ ) dan ( $Z_{2eq}$ ) dapat langsung menjumlahkan impedansi – impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan ( $Z_{0eq}$ ) dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan.

**Tabel 3.5 Data Impedansi Kabel Penyulang NDJ**

No. Group	Jenis Kabel	Panjang Kabel (km)	Ukuran (MM <sup>2</sup> )	Impedansi Urutan		Impedansi Urutan Nol Z <sub>0</sub>	
				Positif/Negatif Z <sub>1</sub> /Z <sub>2</sub>			
				R	JX	R	JX
1.	AL	1	150	0,206	0,104	0.356	0.312
2.	AL	1.2	240	0.125	0.097	0.275	0.029
3.	AL	2.1	150	0.206	0.104	0.356	0.312
4.	AL	0.037	240	0.125	0.097	0.275	0.029
5.	AL	0.652	150	0.206	0.104	0.356	0.312
6.	AL	1.111	240	0.125	0.097	0.275	0.029
7.	AL	0.958	150	0.206	0.104	0.356	0.312
8.	AL	0.135	240	0.125	0.097	0.275	0.029
9.	AL	1.030	150	0.206	0.104	0.356	0.312
10.	AL	0.214	240	0.125	0.097	0.275	0.029
11.	AL	0.179	300	0.100	0.094	0.250	0.282
12.	AL	0.315	240	0.125	0.097	0.275	0.029
13.	AL	0.046	150	0.206	0.104	0.356	0.312
14.	AL	0.064	240	0.125	0.097	0.275	0.029
15.	AL	0.173	150	0.206	0.104	0.356	0.312
16.	AL	0.094	240	0.125	0.097	0.275	0.029
17.	AL	0.675	150	0.206	0.104	0.356	0.312
18.	AL	1.156	240	0.125	0.097	0.275	0.029

Data pada tabel 3.6 menunjukkan tipe arus dan lokasi titik gangguan dalam satuan kilometer, yang terjadi pada penyulang NDJ. selama tahun 2016 terdapat arus gangguan sebanyak 18 kali, tipe arus gangguan yang mendominasi yaitu gangguan phasa ke tanah dengan total gangguan sebanyak 13 kali, sedangkan tipe gangguan phasa ke phasa hanya terjadi sebanyak 5 kali. Ketika keadaan normal arus pada penyulang berkisar 10A hingga 300

A, tetapi ketika arus gangguan terjadi arus yang mengalir pada penyulang berkisar 400 A hingga 8000 A.

Data pada tabel 3.6 digunakan sebagai inputan dalam indikasi arus gangguan pada penyulang NDJ menggunakan *fuzzy rule-based* dan digunakan sebagai pembandingan dari hasil indikasi arus gangguan menggunakan *fuzzy rule-based*, data yang digunakan sebagai inputan yaitu nilai arus ketika keadaan normal dan nilai arus saat terjadi gangguan, pada saat terjadi arus gangguan nilai arus berkisar 400 A hingga 5000 A.

**Tabel 3.6 Data Lokasi Titik Gangguan pada Penyulang NDJ**

Tanggal	GI SUMBER	Relai	Beban (A)	Arus Gangguan				L(Km)
				R	S	T	N	
4-Jan-16	BDUTR	OC M RST	149	4213	3401	1208	260	7.084
29-Jan-16	BDUTR	OC M	177	3828	3534	321	414	8.235
16-Mar-16	BDUTR	M OC RST	191	3480	3888	3931	18	9.622
11-Aug-16	BDUTR	GF R	178	836	206	185	697	11.165
30-Aug-16	BDUTR	GF R	182	868	205	181	730	9.287
10-Sep-16	BDUTR	GF M R	63	957	85	62	902	4.801
3-Oct-16	BDUTR	GF TD R	63	849	66	48	807	7.399
15-Oct-16	BDUTR	OC M	72	393,3	235,0	415,6	412,3	7.589
20-Oct-16	BDUTR	GF T	139	144,0	123,0	946,0	844,4	6.126
25-Oct-16	BDUTR	GF TD R	139	927	206	181	788	6.126
27-Oct-16	BDUTR	GF TD R	82	857	91	72	8236	4.801
2-Nov-16	BDUTR	GF TD S	72	58	884	80	436,9	6.126
4-Nov-16	BDUTR	GF TD T	139	85	64	828	775	7.589
19-Nov-16	BDUTR	GF M TD R	80	1008	71	71	105	6.126
23-Nov-16	BDUTR	OC RT	65	3693	80	3988	401,5	7.819
24-Nov-16	BDUTR	GF R	72	118	109	869	784	7.399
2-Dec-16	BDUTR	GF TD S	60	58	862	79	812,4	6.126
8-Dec-16	BDUTR	GF R	16	823	33	21	805	7.589

### 3.4 Perangkat penunjang penelitian

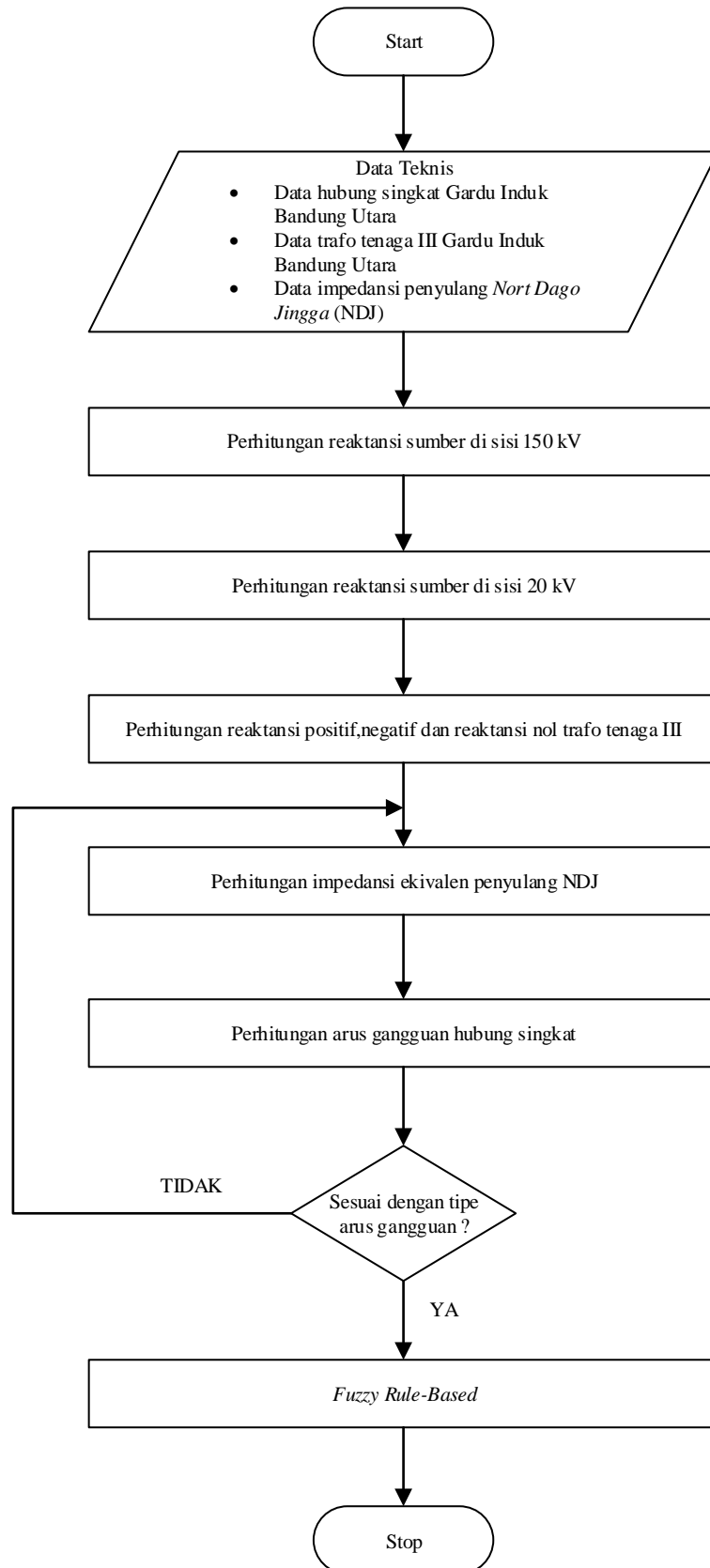
Penelitian ini membutuhkan beberapa penunjang untuk mengoptimalkan hasil. Beberapa perangkat yang dibutuhkan merupakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan yaitu 1 set laptop dengan spesifikasi Operating System Windows 8.1 Pro 64-bit (6.3, Build 9600); Processor Intel(R) Celeron(R) CPU N2840 @2,16Ghz (2 CPUs), ~2,2Ghz dengan Intel(R) HD Graphics 1.0GHz; Memory 2048MB RAM. Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah Matlab R2014b, Microsoft Office Word 2016, Microsoft Excel 2016, Mendeley Desktop ver. 1.17.9, dan Microsoft Office Visio 2013.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan data lokasi titik gangguan dan data arus gangguan pada penyulang *Nort Dago Jingga* (NDJ) selama tahun 2016. Data lokasi titik gangguan digunakan sebagai acuan dalam uji coba indikasi gangguan menggunakan metode perhitungan arus gangguan dan metode *Fuzzy Rule-Based*, sedangkan data arus gangguan digunakan sebagai acuan dalam menentukan range data pada *Fuzzy Inference System*.

Data lokasi titik gangguan, data hubung singkat Gardu Induk Bandung Utara, data - trafo tenaga III Gardu Induk Bandung Utara, dan data impedansi penyulang NDJ diperoleh dari PT PLN (PERSERO) distribusi Jawa Barat dan Banten area Bandung, sedangkan data arus gangguan pada penyulang NDJ diperoleh dari hasil perhitungan. Tahapan – tahapan perhitungan arus gangguan dapat dilihat dalam *flowchart* 3.2.

Selanjutnya, hasil perhitungan arus gangguan dan data lokasi titik gangguan digunakan sebagai *range data membershipfunction* pada fuzzy logic yang bertujuan untuk mengetahui normal atau tidak nya penyulang NDJ. Tahapan – tahapan indikasi arus gangguan dapat dilihat dalam *flowchart* 3.3.



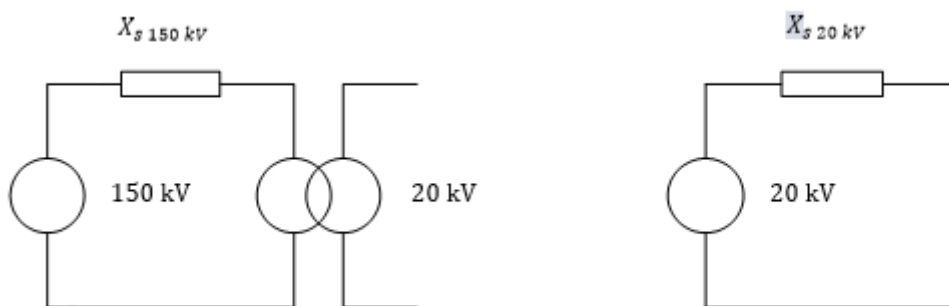
Gambar 3.2 Flowchart Perhitungan Arus Gangguan

Tahapan – tahapan perhitungan arus gangguan sesuai dengan flowchart yang ditentukan adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data hubung singkat gardu induk bandung utara, data trafo tenaga III, data impedansi penyulang *Nort Dago Jingga* (NDJ) dari PT PLN (PERSERO) distribusi Jawa Barat dan Banten area Bandung.
2. Perhitungan reaktansi sumber di sisi 150 kV, perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya reaktansi sumber di sisi 20 kV. Besarnya reaktansi sumber di sisi 150 kV dapat dihitung dengan persamaan :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \quad (1)$$

3. Perhitungan reaktansi sumber di sisi 20 kV, perhitungan ini perlu dilakukan karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi tersebut harus dikonversikan dari sisi 150 kV ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut :



$$X_{s 20 kV} = \frac{20^2 \times X_{s 150 kV}}{150^2} \quad (2)$$

4. Perhitungan reaktansi positif, negatif, dan reaktansi nol trafo III, reaktansi trafo tenaga III dengan daya 60 MVA adalah 12,13%, untuk mencari nilainya dalam *Ohm* , maka perlu dicari dahulu nilai *Ohm* 100 % pada sisi 20 kV menggunakan persamaan (3).



$$X_T(\text{Pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (3)$$

Selanjutnya, reaktansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$X_{t1} = 12,13\% \times X_T(\text{Pada } 100\%) \quad (4)$$

Sedangkan reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga III, yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta, trafo tenaga III menggunakan hubungan belitan Yyd, oleh karena itu reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) dapat dicari dengan persamaan

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} \quad (5)$$

5. Perhitungan impedansi ekuivalen penyulang NDJ, perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya nilai impedansi positif ( $Z_{1eq}$ ), negatif ( $Z_{2eq}$ ) dan nol ( $Z_{0eq}$ ) dari titik gangguan sampai ke sumber, persamaan (5) digunakan untuk mencari impedansi urutan positif dan negatif sedangkan persamaan (6) untuk mendapatkan nilai impedansi urutan nol

Impedansi ekuivalen penyulang NDJ urutan positif dan negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1\text{ penyulang}} \quad (5)$$

Impedansi ekuivalen penyulang NDJ urutan nol

$$Z_0 = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0\text{ penyulang}} \quad (6)$$

6. Perhitungan arus gangguan hubung singkat didapatkan setelah nilai impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dasar, dimana besarnya nilai arus gangguan adalah hasil dari perbandingan antara tegangan dengan impedansi ekuivalen, hanya saja impedansi ekuivalen yang dimasukkan kedalam persamaan dasar tergantung dari tipe arus gangguannya, gangguan hubung singkat yang terjadi bias gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, 2 fasa, atau 3 fasa.

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

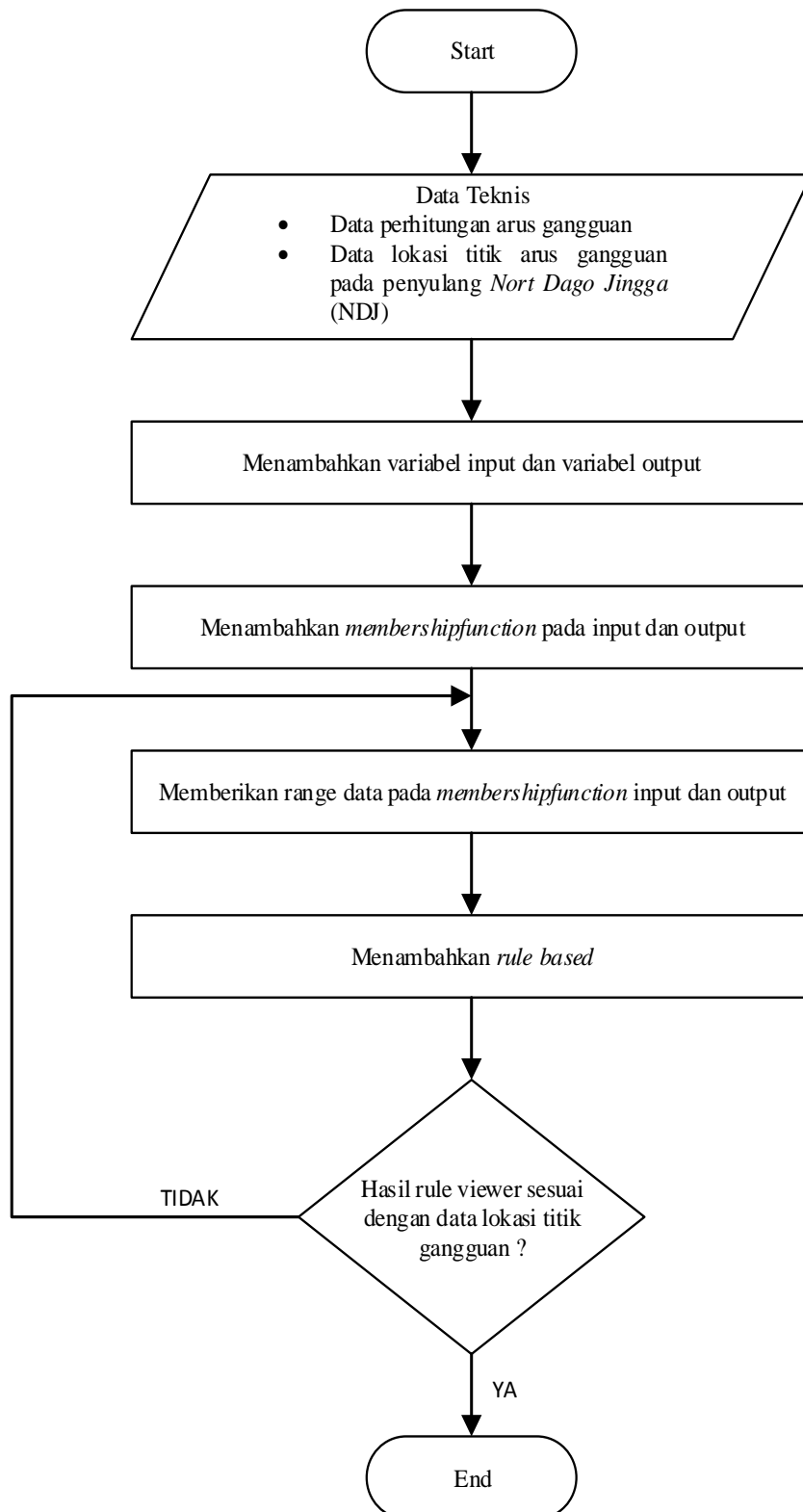
$$I_{sc} = \frac{3 v_f}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}} \quad (7)$$

Gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{sc\ 2\ fasa} = \frac{v_{f-f}}{2 \times Z_{1eq}} \quad (8)$$

Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{sc\ 3\ fasa} = \frac{v_f}{Z_{1eq}} \quad (9)$$



**Gambar 3.3 Flowchart *Fuzzy Ruled-Based***

Tahapan – tahapan indikasi tipe arus gangguan dan lokasi arus gangguan menggunakan *Fuzzy Rule-Based Method* adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data perhitungan arus gangguan dan lokasi titik gangguan dari PT PLN (PERSERO) distribusi Jawa Barat dan Banten area Bandung selama tahun 2016.
2. Menambahkan 4 variabel input , input1=Ir, input2=Is, input3=It dan input4=In , selanjutnya menambahkan 7 variabel output , output1=SLG-R, output2=SLG-S, output3=SLG-T, output4=DL-RS, output5=DL-ST, output6=DL-RT, output7=3-PHASA-FAULT.
3. Menambahkan *membershipfunction* pada input, *membershipfunction* yang digunakan pada variabel input yakni 2 *mf*, *mf1=NORMAL* dengan tipe kurva ZMF dan *mf2=HIGH* dengan tipe kurva SMF. Sedangkan pada output, *membershipfunction* yang digunakan yakni 3 *mf*, *mf1=1-PHASA* dengan tipe kurva *trapezoid*, *mf2=2PHASA* dengan tipe kurva *trapezoid*, dan *mf3=3-PHASA* dengan tipe kurva *trapezoid*.
4. Memberikan *range data* pada *membershipfunction input* dan *output* , variable input dan output menggunakan *range data* yang berkisar [0,1000], sedangkan pada *membershipfunction input* , *mf1=NORMAL* dan *mf2=HIGH* nilai *range data*nya berkisar [300,400]. Sedangkan pada *membershipfunction output* , *mf1=1-PHASA* nilai *range data* berkisar [780,960] , *mf2=2-PHASA* nilai *range data* berkisar [3500,10600] , *mf3=3-PHASA* nilai *range data* berkisar [4000,12200].
5. Memberikan *Rule Based* , pemberian *rule based* dimaksudkan agar program fuzzy yang dibuat dapat mengindikasikan tipe arus gangguan dan besarnya arus gangguan yang terjadi pada penyulang NDJ. Jika *output rule viewer* tidak sesuai dengan harapan maka atur kembali *range data* pada tiap *membershipfunction* dan *rule based*.