

Analisis Kontingensi Terhadap Probabilitas *Blackout* Pada Jaringan Sistem Tenaga Menggunakan Model Bertingkat

Dekpride Despa

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

e-mail: despa@unila.ac.id

Abstrak—Jaringan sistem tenaga listrik merupakan jaringan yang sangat kompleks yang memiliki sejumlah komponen yang berinteraksi satu dengan yang lainnya. Ketika salah satu komponen beroperasi melebihi limit maka sistem proteksi akan beraksi dan komponen akan dilepaskan dari sistem. Komponen juga dapat terlepas dari sistem oleh karena kesalahan operasi atau kerusakan yang diakibatkan penuaan (ageing), api, cuaca, perawatan yang kurang baik, dan setting yang tidak tepat. Aliran daya sistem dihitung dengan melalui pendekatan aliran daya DC untuk mencari sudut tegangan dan daya aktif yang mengalir pada saluran. Sistem *Blackout* sebagai akibat dari Proses bertingkat pada sistem 12 Bus diawali oleh beban yang naik (D) pada sistem sehingga memicu terjadinya *overload* pada saluran dalam sistem, dengan kenaikan beban (P) setelah terjadinya pelepasan saluran tidak lepas dari margin saluran margin saluran pada sistem. Nilai-nilai D dan P pada model dinormalisasi dengan range $[0,1]$ sehingga membentuk suatu variabel peluang yaitu d dan p . Padatnya pelepasan saluran dalam model bertingkat pada tingkat tertentu ditunjukkan dengan besarnya probabilitas *Blackout* pada titik tersebut yang ditunjukkan dengan menggunakan pendekatan Probability density function (Pdf), dan Cumulative density Function (Cdf).

Kata Kunci: Probabilitas *Blackout*, Aliran daya DC, Model bertingkat, Pdf, Cdf

Abstract—Electrical power system network is a very complex network which consist several component that interact between one and another. When one component operate exceed it's limitation then protection system will react and that component will be cut off from the system. Component could also be cut off from the system because of malfunction, damage that cause by aging, fire, weather, improper maintenance and incorrect setting. The system power flow can be calculated by using DC power flow approximation to find voltage degree and active power that flow in the

*line. Blackout system as cause of cascade process in twelve bus system was started by load increased (D) in the system so that it will trigger overload in the network. With load increment (P) after load shedding is not out of the line margin of the system. D and P values in model being normalized by $[0,1]$ range so it will make probability variables which are d and p . The number of load shedding in cascade model in particular level was shown by the *blackout* probability at that point given by using Probability density function (Pdf), and Cumulative density function (Cdf) approach.*

Keyword: *Blackout* probability, DC power flow, cascade model, Pdf, Cdf be known from spike that's occurs on wavelet decomposition.

A. Pendahuluan

Apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran udara yang menyebabkan terjadinya lepasnya saluran tersebut dari sistem maka besar daya yang dipikul oleh saluran tersebut akan mengalir kesaluran yang lain disekitarnya. Setelah tersebar ke saluran disekitarnya maka besar daya yang dipikul oleh saluran disekitar akan menjadi lebih besar. ketika besar daya pada saluran transmisi tersebut melebihi kapasitas maksimum transfer dari saluran tersebut maka pada saluran tersebut akan terjadi *overload* [1].

Pada sistem transmisi terlepasnya saluran secara *cascade* (bertingkat) menjadi perhatian yang sangat serius dalam perencanaan sistem. *Cascade* terkadang berlanjut sampai terjadinya pelepasan beban yang sangat besar atau keseluruhan sehingga sistem tidak dapat lagi berinterkoneksi satu sama lain sehingga menyebabkan sistem terisolasi “*island*” atau bahkan terjadinya pemadaman total (*Blackout*)[6]. Beberapa contoh terjadi di

Naskah ini diterima pada tanggal 25 Februari 2008, direvisi pada tanggal 20 Maret 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 20 April 2008

beberapa negara seperti Amerika, Jepang , Australia dan lain-lain [10] :

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui probabilitas besar terjadinya *blackout* dari faktor pembebanan yang dilakukan sebagai *outage* (keluarnya saluran dari sistem).

B. Tinjauan Pustaka

Model Bertingkat

1. Terdapat banyak komponen yang identik dalam sistem, dimana masing-masing komponen mempunyai nilai pembebanan masing-masing.
2. Ketika terjadi *overload* pada salah satu komponen, saluran akan terlepas dan mentransfer beban ke saluran yang lainnya dengan peluang penyebaran secara seragam.

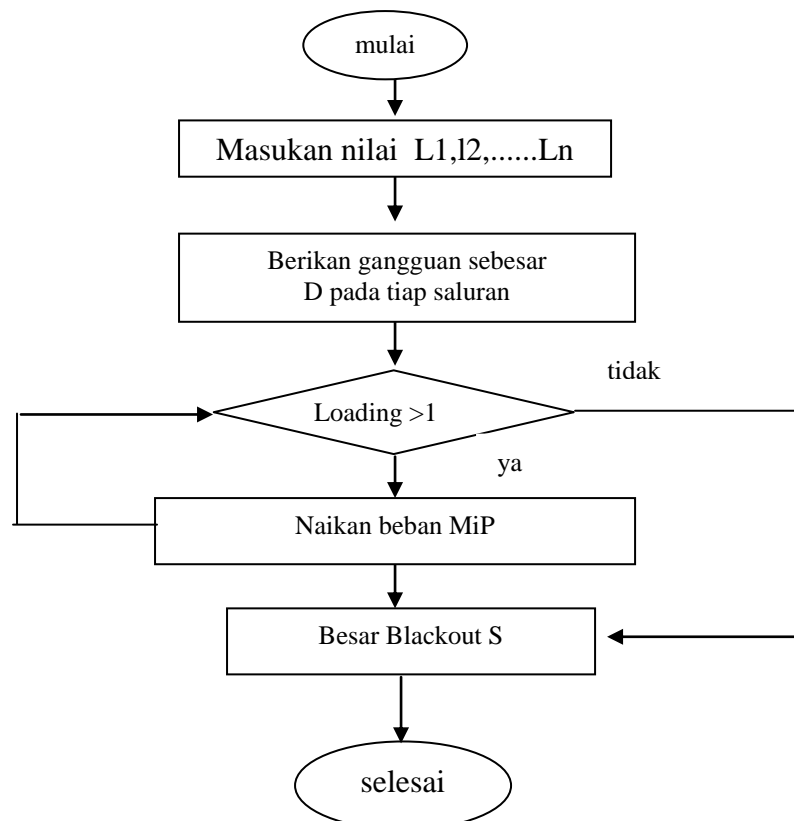
nilai saluran yang berbeda-beda. Tiap saluran memiliki nilai transfer yaitu L_{min} dan kapasitas transfer saluran yaitu L_{max} atau 1. Untuk $j = 1, 2, 3, \dots, n$, mempunyai beban L_j yang besarnya berada dalam rentang $(L_{min}, 1)$, rata-rata pembebanan $L = (L_{min} + 1)/2$. Dimana $L_{min} = 2L - 1$, $L = 1, 2, 3, \dots, n$ merupakan variabel bebas. Saluran terlepas ketika melebihi 1. ketika saluran terlepas kenaikan beban P menyebar ke saluran yang lainnya sehingga P menjadi kenaikan beban saluran ketika saluran terlepas. Selanjutnya p merupakan probabilitas dari L_1 yang nilainya berada dalam rentang $(L_{min}, 1)$.

$$P = \frac{P}{1 - L^{\min}} = \frac{P}{2 - 2L} \quad (1)$$

Gambaran Model

Model ini mempunyai komponen sejumlah n saluran yang identik yang mempunyai

C. Metode Penelitian



Gambar.1 Diagram Alir Program

Penyelesaian Aliran Daya DC

Dalam penyelesaian permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan beroperasi dalam kondisi seimbang, dan model fasa tunggal yang digunakan. Ada empat besaran yang digunakan pada masing-masing bus dari studi aliran daya, yaitu *magnitude* tegangan $|V|$, sudut fasa δ , daya aktif P , dan daya reaktif Q . Bus sistem umumnya dikelompokkan dalam 3 tipe yaitu Slack Bus, Load Bus, Regulated Bus. Saluran transmisi memiliki dua parameter yaitu r dan x dimana keduanya adalah variabel dalam impedansi z . Dalam pendekatan aliran daya dc nilai yang digunakan adalah nilai imajiner dari invers impedansi (yaitu admitansi).

$$g + jb = \frac{1}{(r + jx)} = \frac{r}{(r^2 + x^2)} - j \frac{x}{(r^2 + x^2)} \quad (2)$$

sehingga

$$g = \frac{r}{(r^2 + x^2)} \quad (3)$$

$$b = -\frac{x}{(r^2 + x^2)} \quad (4)$$

Distribusi Besar Blackout

Mengukur jumlah *blackout* dengan S , dimana S merupakan variabel diskrit dari $0, 1, 2, \dots, n$. dimana besar S adalah banyaknya kejadian lepasnya saluran setiap tahap sehingga besarnya *blackout*

dihitung dari pada tingkat n terjadinya *blackout* dirumuskan sebagai :

$$P[S = r] = \frac{1}{r+1} nCr((r+1)p)^r (1-(r+1)p)^{n-r} \quad (5)$$

dimana n : Jumlah saluran,
 r : cara pengambilan (tingkat terjadinya *blackout*)
 p : pembebanan awal

persamaan tersebut disederhanakan oleh Consul menjadi persamaan :

$$P[S = r] = nCr(d + rp)^{r-1} (1 - d - rp)^{n-r} \quad (6)$$

dimana nilai probabilitas diperoleh dari nilai-nilai [5]:

$$d = \frac{D + L^{\max} - L^{\text{fail}}}{L^{\max} - L^{\text{fail}}} \quad (7)$$

$$P = \frac{P}{L^{\max} - L^{\min}} \quad (8)$$

sedangkan rata-rata distribusi *blackout* dihitung dari nilai-nilai pembebanan dan banyaknya cara pengambilan terjadinya *blackout* dirumuskan :

$$ES = np \sum_{r=0}^{n-1} \frac{(n-1)!}{(n-r-1)!} p^r \quad (9)$$

D. Pembahasan

Hasil Aliran Daya Sistem

Yang pertama dilakukan adalah memasukan data pada program adalah data saluran dan data bus, data saluran yang telah dituliskan pada tabel 1

Tabel. 1 Parameter-Parameter Bus Sistem Dalam Matlab

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.0000	1.0000	1.0250	0	51.0000	41.0000	0	0	0	0	4.0000
2	2.0000	2.0000	1.0200	0	22.0000	15.0000	74.0000	0	0	0	0
3	3.0000	0	1.0250	0	64.0000	50.0000	0	0	0	0	0
4	4.0000	2.0000	1.0500	0	25.0000	30.0000	300.0000	0	0	0	2.0000
5	5.0000	2.0000	1.0450	0	50.0000	30.0000	300.0000	0	0	0	5.0000
6	6.0000	0	1.0000	0	76.0000	29.0000	0	0	0	0	2.0000
7	7.0000	0	1.0000	0	25.0000	22.0000	0	0	0	0	0
8	8.0000	0	1.0000	0	40.0000	30.0000	0	0	0	0	0
9	9.0000	0	1.0000	0	50.0000	50.0000	0	0	0	0	3.0000
10	10.0000	0	1.0000	0	20.0000	15.0000	0	0	0	0	0
11	11.0000	0	1.0000	0	25.0000	15.0000	0	0	0	0	1.5000
12	12.0000	0	1.0000	0	70.0000	48.0000	0	0	0	0	0

Data bus tabel 6 berisi : kolom 1 merupakan no bus, kolom dua jenis bus, kolom 3 merupakan tegangan bus, kolom 4 merupakan sudut tegangan bus, kolom 5 merupakan daya aktif bus, kolom 6 daya reaktif, dan 7,8,9,10, var reaktif saluran kolom 11 kompensasi saluran.

Pada tabel 7, kolom1 merupakan dari bus, kolom 2 bus yang dituju, kolom 3 merupakan resistansi saluran, kolom 4 merupakan reaktansi saluran, kolom 5, merupakan tap transformator.

Proses Model Bertingkat

Nilai *Initial loading* diperoleh dari daya pembangkitan pada tabel 8 dan 9, dan dibagi dengan kapasitas maksimum transmisi yang diperoleh dari jenis konduktor saluran pada lampiran 5, dari nilai jenis konduktor saluran pada sistem 130 kV dapat mengalirkan daya 187 Mw untuk jenis konduktor ACSR (*Aluminium Conductor , Steel-Reinforced*), Al / St 26 / 7 yang dapat melewati arus 730 Ampere.

Tabel 2 Parameter-Parameter Saluran pada Jaringan dalam Matlab

	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	2.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
2	1.0000	11.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
3	1.0000	5.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
4	2.0000	3.0000	0.0960	0.2700	0.0030	0.9600
5	2.0000	7.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
6	2.0000	8.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
7	3.0000	12.0000	0.0960	0.2700	0.0030	0.9600
8	4.0000	12.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0500
9	5.0000	11.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
10	5.0000	6.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
11	6.0000	9.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
12	6.0000	7.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
13	6.0000	11.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
14	7.0000	9.0000	0.0960	0.2700	0.0030	0.9500
15	8.0000	4.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0500
16	8.0000	7.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
17	8.0000	10.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
18	8.0000	12.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
19	9.0000	11.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
20	9.0000	10.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000
21	10.0000	12.0000	0.0960	0.2700	0.0030	1.0000

Tabel. 3. Sudut Tegangan Bus pada Sistem Aliran Daya DC Untuk Program Pembantu model bertingkat

Bus No.	Tegangan Mag.	Sudut Degree	-Beban- MW	-Pembangkit- MW
1	1.025	0.000	51.000	0.000
2	1.020	-0.176	22.000	74.000
3	1.025	-0.128	64.000	0.000
4	1.050	-0.710	25.000	300.000
5	1.045	-0.336	50.000	300.000
6	1.000	-0.123	76.000	0.000
7	1.000	-0.150	25.000	0.000
8	1.000	-0.275	40.000	0.000
9	1.000	-0.113	50.000	0.000
10	1.000	-0.199	20.000	0.000
11	1.000	-0.124	25.000	0.000
12	1.000	-0.268	70.000	0.000

Tabel .4. Daya Yang Mengalir Pada Saluran

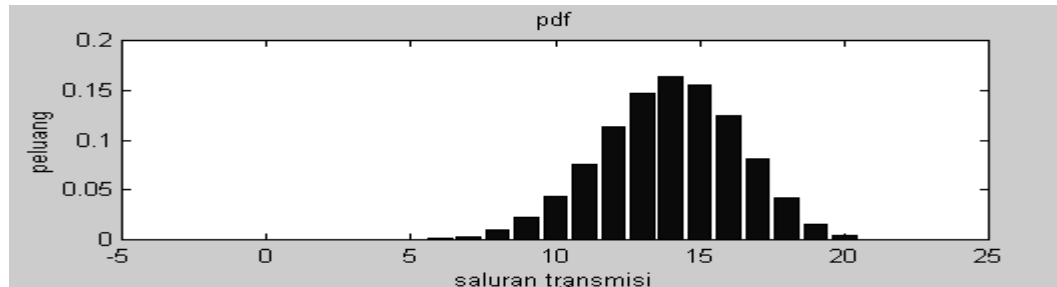
Data saluran				
Line #	dari bus	ke bus	dari bus daya aktif (mw)	ke bus daya aktif (mw)
1	1	2	57.763	-57.763
2	1	11	40.881	-40.881
3	1	5	110.583	-110.583
4	2	3	-16.203	16.203
5	2	7	-8.335	8.335
6	2	8	32.597	-32.597
7	3	12	47.793	-47.793
8	4	12	-138.530	138.530
9	5	11	-69.702	69.702
10	5	6	-70.017	70.017
11	6	9	-3.342	3.342
12	6	7	8.862	-8.862
13	6	11	0.315	-0.315
14	7	9	-12.847	12.847
15	8	4	136.367	-136.367
16	8	7	-40.932	40.932
17	8	10	-25.076	25.076
18	8	12	-2.271	2.271
19	9	11	3.656	-3.656
20	9	10	28.060	-28.060
21	10	12	22.805	-22.805

Tabel 5. Proses Bertingkat Untuk $n=21, d=0.6, p=0.0476$

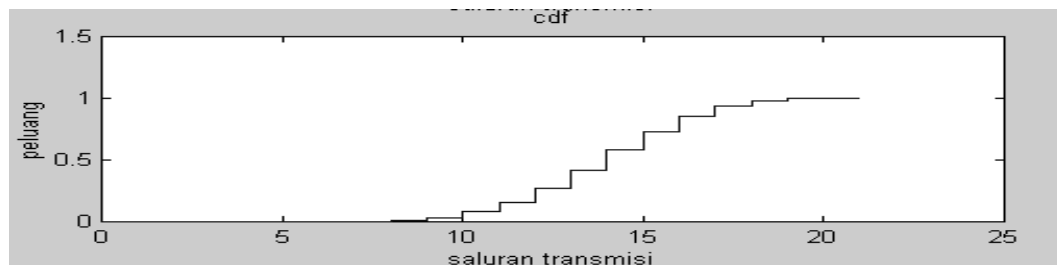
Model bertingkat					
Line\Urutan	0	1	2	3	4
L1-2	0.3088	0.9088	1.0517	1.1946	1.4803
L1-11	0.2186	0.8186	0.9614	1.1043	1.3900
L1-5	0.5913	1.1913	1.3341	1.4770	1.7627
L2-3	0.0866	0.6866	0.8295	0.9723	1.2581
L2-7	0.0446	0.6446	0.7874	0.9303	1.2160
L2-8	0.1743	0.7743	0.9171	1.0600	1.3457
L3-12	0.2555	0.8555	0.9984	1.1413	1.4270
L4-12	0.7407	1.3407	1.4835	1.6264	1.9121
L5-11	0.3727	0.9727	1.1155	1.2584	1.5441
L5-6	0.3744	0.9744	1.1172	1.2601	1.5458
L6-9	0.0179	0.6179	0.7607	0.9036	1.1893
L6-7	0.0474	0.6474	0.7902	0.9331	1.2188
L6-11	0.0017	0.6017	0.7445	0.8874	1.1731
L7-9	0.0687	0.6687	0.8115	0.9544	1.2401
L8-4	0.7291	1.3291	1.4720	1.6148	1.9005
L8-7	0.2189	0.8189	0.9617	1.1046	1.3903
L8-10	0.1341	0.7341	0.8769	1.0198	1.3055
L8-12	0.0121	0.6121	0.7550	0.8979	1.1836
L9-11	0.0196	0.6196	0.7624	0.9053	1.1910
L9-10	0.1500	0.7500	0.8929	1.0357	1.3215
L10-12	0.1219	0.7219	0.8648	1.0076	1.2934

Tabel 6. Saluran Yang Lepas Pada Model Bertingkat

Urutan Lepasnya Saluran				
0	1	2	3	4
0	3	3	7	8



Gambar.2 Nilai Pdf



Gambar. 3 Nilai Cdf

0 adalah keadaan awal, baris pertama urutan bertingkat, baris ke dua jumlah saluran yang lepas. Pada tingkat 1 ada 4 saluran yang lepas, pada tingkat 3 terdapat 3 saluran yang lepas dan seterusnya.

Pengaruh Kenaikan D

Kasus 1. $d \leq 0$ dan $d \geq 1$,

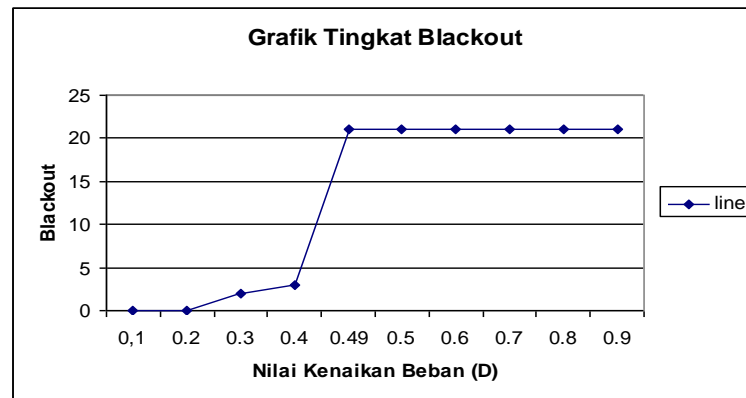
Kasus seperti ini terjadi untuk $d \leq 0$, adalah tidak ada pembebanan atau terjadi pengurangan beban dari sistem pada kondisi awal, untuk $d \leq 0$ karena tidak ada beban awal yang ditambahkan pada sistem maka tidak ada saluran yang terlepas sehingga nilai peluang saluran yang lepas pun 0, ini dapat kita lihat hasil distribusi peluangnya pada Lampiran 2.3, proses ini terjadi karena peluang distribusi pada posisi $f(r,d,p,n) = 1$; $r = 0$, dan $0 < r \leq 0$, untuk $d \leq 0$. Sedangkan Untuk $d \geq 1$,

saluran secara serentak untuk tahap awal setelah ditambahkan D akan terlepas seluruhnya karena telah melewati L^{\max} sehingga

$L_j + D \geq 1$, Untuk peluang distribusinya dapat dilihat pada lampiran 2.4, pada proses ini terjadi karena $f(r,d,p,n) = 0$; $0 \leq r \leq n$, dan $1 < r = n$, untuk $d \geq 1$.

Pembebanan Pada Sistem

Untuk melakukan pembebanan pada sistem nilai D dinaikkan dari 0 sampai 1, Nilai D merupakan pembebanan (daya) yang diterapkan pada sistem sehingga sistem mengalami pelepasan saluran, Ketika saluran terlepas maka nilai P (Penyebaran beban setelah pelepasan) yang diterapkan pada sistem untuk melihat tingkat pelepasan saluran



Gambar. 4 Hasil Kenaikan Nilai D

Gambar 4 ini menunjukkan kenaikan pembebanan dari 0.1-0.9, saluran dari sistem mulai mengalami pelepasan oleh *trigger* beban dari $D = 0.3$, kenaikan D yang terus menerus meningkatkan jumlah saluran yang lepas sampai pada titik maksimum yaitu mulai dari $D = 0.49$ seluruh saluran lepas, sehingga nilai setelah 0.49 dipastikan seluruh saluran terlepas dari sistem.

E. Simpulan

Dari Pembahasan pada bab empat dapat kita ambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Terjadinya blackout secara total terjadi diawali oleh suatu kejadian baik, itu gangguan alam, kesalahan operator, maupun akibat penambahan beban pada sebagian sistem yang menyebabkan saluran terputus.
2. Semakin besar pembebanan pada sistem menyebabkan peluang terjadinya blackout pada sistem semakin besar. Dan nilai dimana banyak saluran dilepaskan maka peluang distribusi saluran lepas pun besar di titik tersebut.
3. Kenaikan nilai D meningkatkan peluang saluran terlepas juga meningkat yang diikuti oleh kenaikan nilai P oleh banyaknya saluran yang lepas, dan pada sistem ini terjadinya total blackout terjadi pada $D=0.49$ dengan tingkat pelepasan tujuh tingkat.

4. Pada sistem tanpa kenaikan pembebanan $D=0$, maka peluang blackout juga 0, dan pada sistem dengan $P = 0$ besar peluang distribusi sistem menjadi binomial.

Daftar Pustaka

- [1]. Hary, G. Stoll., 1989. "*Least cost Electric Utility Planning*", John Wiley & Son, Inc.
- [2]. Dobson, Ian Careras, A. Benjamin, 2004 "A criticality approach to monitoring cascading failure risk and failure propagation in transmission systems", Conference at Carnegie Mellon University, pittsburgh. USA.
- [3]. Kevin R. Wierzbicki. Dobson, I., 2006. "An approach to statistical estimation of cascading failure propagation in blackouts". Third International Conference on Critical Infrastructures, Alexandria
- [4]. Chen, J. Newman, D.E., 2002., "Examining critical of blackout in power system with cascading events". Hawaii International Conference on System science. Hawaii.
- [5]. Careras. Dobson. "A Loading – Dependent Model of Probabilistic Cascading Failure". Cambridge University Press. USA
- [6]. Allen J. Wood, Wollenber., "Power Generation Operation And Control", second edition., John Wiley & Son, Inc. USA.

- [7].Jorge, I.Aunon., Chandresekar., *Analysis*". McGraw-Hill International Editions.USA
"Introduction to Probability And Random Process"., McGraw-Hill International editions.
- [8].Saadat, Hadi., 1999., "Power System
- [9].Hutauruk, Prof., 2002., "Transmisi Daya Listrik".,Erlangga. Jakarta.