BAB III
METODE PENELITIAN

1.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Karakteristik pembangkit meliputi daya maksimum dam minimum, karakteristik *heat-rate* (perbandingan *input-output*), harga bahan bakar, karakteristik saluran, dan beban harian. Sumber data yang didapat dari PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa-Bali.
2. Penjadwalan dilakukan pada pembangkit termal yang terhubung (interkoneksi) dengan sistem 500 kV Jawa-Bali, yaitu Suralaya, Muara Tawar, Tanjung Jati, Gresik, Paiton dan Grati.
3. Data yang digunakan adalah data saluran dan pembebanan pembangkit termal sistem 500 kV Jawa-Bali pada tanggal 9 September 2013.
4. Perhitungan rugi-rugi saluran sistem interkoneksi 500kV Jawa-Bali menggunakan bantuan *software* MATLAB R2011a.

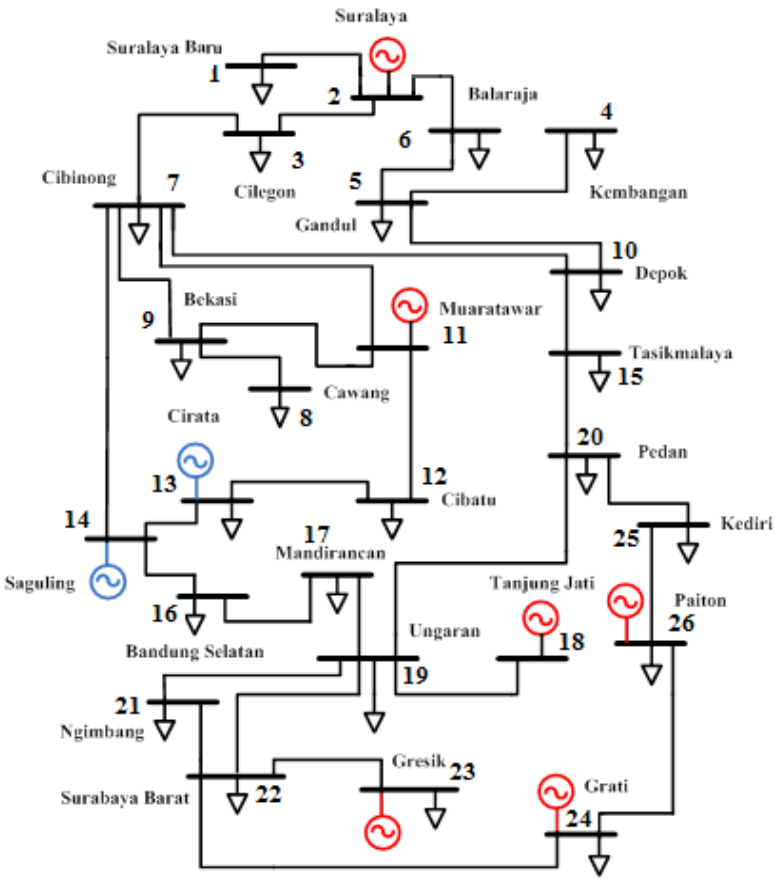
1.2 Perangkat Penunjang Penelitian

Hasil penelitian yang baik tentu saja tidak terlepas dari peran perangkat penunjang yang memfasilitasi proses penelitian serta penyusunan laporan penelitian yang meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras penunjang penelitian ini ialah 1 *set* komputer dengan spesifikasi sistem *Prosessor Intel® Core™ i5-3320M @2.6GHz with ATI Radeon™ HD Graphics, RAM 4Gb, System Type 32 – bit Operating System Windows 7 Home Premium.* Sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data, pembelajaran algoritma, *citation manage* dan keperluan penelitian lainnya ialah beberapa aplikasi berikut. *Matlab Version 7.12.0.635 (R2011a), Mendeley Desktop Version 1.13.8.,* dan *Microsoft office 2010.*

1.3 Data Sistem Interkoneksi 500kV Jawa Bali

Sistem interkoneksi 500kv Jawa Bali terdiri atas 26 bus dan 8 pembangkit. Pembangkit-pembangkit yang terpasang antara lain Suralaya, Paiton, Cirata, Saguling, Muara Tawar, Tanjung Jati, Grati, dan Gresik. Unit pembangkit Cirata dan Saguling merupakan pembangkit listrik tenaga air, dan sisanya merupakan pembangkit termal, dengan pembangkit Suralaya sebagai pembangkit *slack.*

Sistem interkoneksi 500kV Jawa Bali dapat digambarkan dalam bentuk *single line* diagram seperti pada gambar berikut ini,



Gambar 1.1 Sistem Interkoneksi 500kV Jawa Bali

Keterangan gambar :

: pembangkit hidro

: pembangkit termal

: saluran transmisi

: saluran *outgoing* 500 kV

: bus bar

1.3.1 Parameter Bus

Pada sistem tenaga listrik terdapat 3 jenis bus berdasarkan fungsinya, yaitu bus referensi, bus beban, dan bus generator. Pengelompokan bus sendiri bertujuan untuk mempermudah dalam hal identifikasi dan analisis data penulisan. Berdasarkan gambar 3.1 kita dapat mengelompokan bus-bus teresbut ke dalam tiga jenis bus, sebagaimana tabel berikut,

Tabel 1.1 Jenis-Jenis Bus Pada Sistem Interkoneksi 500kV Jawa Bali

Jenis Bus	**Kode**	**Nama Bus**	**Jumlah Bus**
Slack Bus	1	Suralaya	1
Bus Beban	0	Suralaya baru, Cilegon, Kembangan, Gandul, Balaraja, Cibinong, Cawang, Bekasi, Depok, Cibatu, Tasikmalaya, Bandung Selatan, Mandirancan, Ungaran, Pedan, Ngimbang, Surabaya Barat, Kediri	18
Bus Generator	2	Muara Tawar, Cirata, Saguling, Tanjung Jati, Gresik, Grati, Paiton	7

Dari tabel di atas diketahui bahwa sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali memiliki 1 *slack* bus, 18 bus beban dan 7 bus generator. Data lain yang diperlukan selain pengelompokan jenis bus adalah data pembebanan dan pembangkitan. Selain itu karakteristik saluran transmisi diperlukan untuk mencari persamaan rugi-rugi transmisi. Karakteristik saluran transmisi yang diperlukan yaitu reaktansi (X) saluran, resistansi (R) saluran dan suseptansi (B) saluran, berikut tabel data saluran dan bus sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali.

Tabel 1.2 Data Saluran Sistem Interkoneksi 500kV Jawa Bali

(Data Parameter SJB PT. PLN P3B Jawa-Bali)

Dari Bus	Ke Bus	R (pu)	X (pu)	1/2 B (pu)
1	2	0.00015	0.00141	0.01136
2	3	0.00125	0.01401	0.00057
2	6	0.00735	0.07066	0.00011
5	4	0.01313	0.14692	0.00005
5	6	0.00302	0.03385	0.00023
7	14	0.00595	0.05724	0.00014
9	7	0.00822	0.09199	0.00008
9	8	0.00444	0.04267	0.00018
10	5	0.00197	0.01896	0.00042
10	7	0.00069	0.00667	0.00119
11	7	0.00182	0.01753	0.00045
11	8	0.00621	0.05967	0.00013
12	11	0.00562	0.05404	0.00014
12	13	0.00564	0.05422	0.00014
14	13	0.00547	0.05264	0.00015
14	16	0.00294	0.02833	0.00028
15	10	0.00391	0.04380	0.00018
17	16	0.02811	0.31449	0.00002
17	19	0.01398	0.13433	0.00005
19	18	0.02695	0.25898	0.00003
19	20	0.01353	0.15140	0.00005
19	21	0.00903	0.08681	0.00009
20	15	0.02347	0.22558	0.00003
21	22	0.03062	0.34257	0.00002
22	19	0.00059	0.05740	0.00013
22	24	0.02979	0.28622	0.00002
25	20	0.00797	0.08919	0.00008
26	24	0.00280	0.02691	0.00029
26	25	0.02058	0.23025	0.00003
3	7	0.00887	0.09924	0.00008
23	22	0.02058	0.23025	0.00003

Tabel 1.3 Data Pembangkitan dan Pembebanan Bus pada

Sistem Interkoneksi 500 kV

(*Logsheet* Pukul 07:00 WIB Senin, 9 September 2013 PT. PLN P3B Jawa-Bali)

Nama Bus	kode bus	Load		Generator	
		MW	Mvar	MW	Mvar
Suralaya Baru	0	82	13	0	0
Suralaya	1	136	-82	2534	817
Cilegon	0	146	-145	0	0
Kembangan	0	412	70	0	0
Gandul	0	442	-708	0	0
Balaraja	0	599	242	0	0
Cibinong	0	200	323	0	0
Cawang	0	431	120	0	0
Bekasi	0	873	90	0	0
Depok	0	368	54	0	0
Muaratawar	2	0	0	734	122
Cibatu	0	620	400	0	0
Cirata	2	503	149	111	21
Saguling	2	0	0	107	13
Tasikmalaya	0	160	49	0	0
Bandung Selatan	0	326	195	0	0
Mandirancan	0	-117	104	0	0
Tanjung Jati	2	264	34	1591	31
Ungaran	0	655	329	0	0
Pedan	0	496	168	0	0
Ngimbang	0	231	19	0	0
Surabaya Barat	0	674	357	0	0
Gresik	2	151	-21	854	196
Grati	2	385	172	406	72
Kediri	0	485	172	0	0
Paiton	2	364	28	3195	-325
Total		8886	2132	9532	947

Keterangan :

Kode bus 0 : bus beban

Kode bus 1 : *slack bus*

Kode bus 2 : bus generator

Pada tabel 3.3 kolom generator mengindikasikan daya yang hasilkan suatu pusat pembangkit listrik. Sedangkan pada bus beban kolom generator bernilai 0,

mengindikasikan bahwa bus tersebut merupakan bus yang terhubung dengan jaringan dibawah 500 kV untuk menyaluran energi listrik ke pusat beban.

1.3.2 Parameter Pembangkit

Dalam mencari fungsi biaya bahan bakar diperlukan data dari perbandingan input-output yang biasa disebut data *heat-rate*. Setiap pembangkit memiliki data *heat-rate* yang berbeda beda, mengakibatkan fungsi biaya bahan bakar berbeda pula. Diperlukan setidaknya 4 titik *heat-rate* untuk mencari fungsi biaya bahan bakar.

Tabel 1.4 Data *Heat-rate* Pembangkit Termal 500kV Jawa-Bali

Nama Pembangkit	Daya Pembangkitan MW				*Heat Rate* (kkal/kWh)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Suralaya	1.703	2.221	2.561	3.247	19.287	18.783	18.521	18.103
Muara Tawar	666	826	993	1.140	28.387	28.304	25.412	24.756
Tanjung Jati	1.227	1.525	1.813	1.983	7.262	7.182	7.107	7.055
Gresik	1.141	1.382	1.649	1.973	48.200	47.886	47.715	47.562
Grati	320	400	560	796	31.413	28.223	27.456	26.895
Paiton	2.072	2.793	3.359	4.005	19.204	18.410	17.862	17.372

Suatu unit pembangkit memiliki batas minimum dan batas maksimum kapasitas pembangkitan. Selang ini menandakan batas kerja aman suatu pembangkit. Apabila pembangkit bekerja diluar selang tersebut akan menimbulkan kerusakan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tabel 1.5 Batas Maksimum dan Minimum Pembangkit Termal Sistem 500kV Jawa-Bali

No.	Pembangkit	P min (MW)	P maks (MW)
1	Suralaya	1.600	3.400
2	Muara Tawar	600	1.500
3	Tanjung Jati	1.200	2.100
4	Gresik	900	2.100
5	Grati	290	800
6	Paiton	1.800	4.300

1.3.3 Parameter Beban

Data pembebanan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data pembebanan pada sistem interkoneksi 500kV Jawa-Bali yang terdiri dari 24 jam pembebanan sebagai berikut:

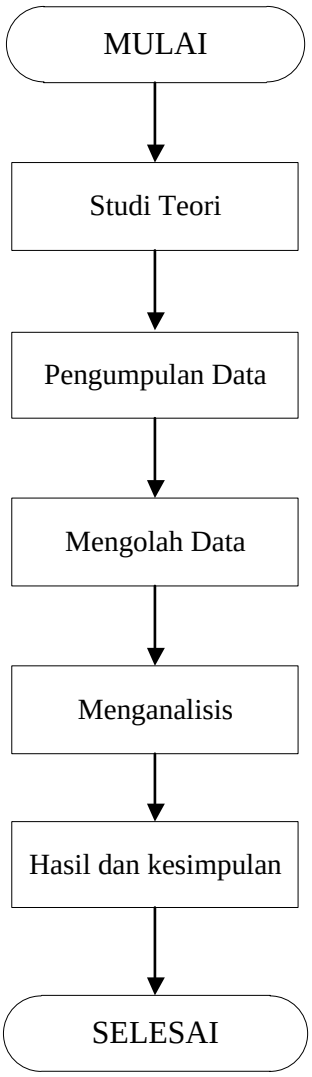
Tabel 1.6 Pembebanan Pembangkit Termal Sistem 500 kV Jawa-Bali
(*Logsheet* Senin, 9 September 2013 PT. PLN P3B Jawa-Bali)

Pukul	Suralaya	Muara Tawar	Tanjung Jati	Gersik	Paiton	Grati
1:00	2.032	724	1.818	1.034	3.306	412
2:00	2.038	677	1.656	1.021	3.110	407
3:00	2.058	651	1.517	1.023	3.120	405
4:00	2.037	650	1.361	1.037	3.072	403
5:00	2.490	706	1.579	942	3.549	439
6:00	2.728	614	1.693	883	3.471	455
7:00	2.534	734	1.591	854	3.195	406
8:00	2.964	686	1.828	1.056	3.659	405
9:00	2.951	982	1.977	1.239	4.164	377
10:00	2.979	982	1.989	1.287	4.208	376
11:00	3.162	1.220	1.986	1.310	4.212	321
12:00	3.195	1.168	1.823	1.206	3.610	325
13:00	3.266	1.393	1.928	1.284	3.775	285
14:00	3.249	1.320	1.986	1.299	4.218	378
15:00	3.241	1.274	1.986	1.277	4.236	402
16:00	3.251	1.179	1.988	1.345	4.051	413
17:00	3.095	1.093	1.987	1.348	4.052	341
18:00	3.218	1.156	1.986	1.551	4.242	689
19:00	3.137	1.160	1.975	1.555	4.238	747
20:00	3.155	1.167	1.989	1.553	4.230	686
21:00	3.161	1.056	1.986	1.555	4.229	491
22:00	3.089	844	1.989	1.515	4.053	401
23:00	2.934	942	1.965	1.526	4.051	290
24:00	2.961	720	1.973	1.410	4.076	292

1.4 Prosedur Penelitian

Sumber data yang didapat dari PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa-Bali berupa data *heat rate*, pembebanan pembangkit, daya nyata maksimum, daya nyata minimum, karakteristik saluran dan aliran daya.

Guna memberikan langkah kerja yang sistematis penulis menambahkan diagram alir penelitian skripsi dan diagram alir algoritma penyelesaian penjadwalan pembangkit menggunakan *pattern search* yang disajikan pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 dibawah ini,



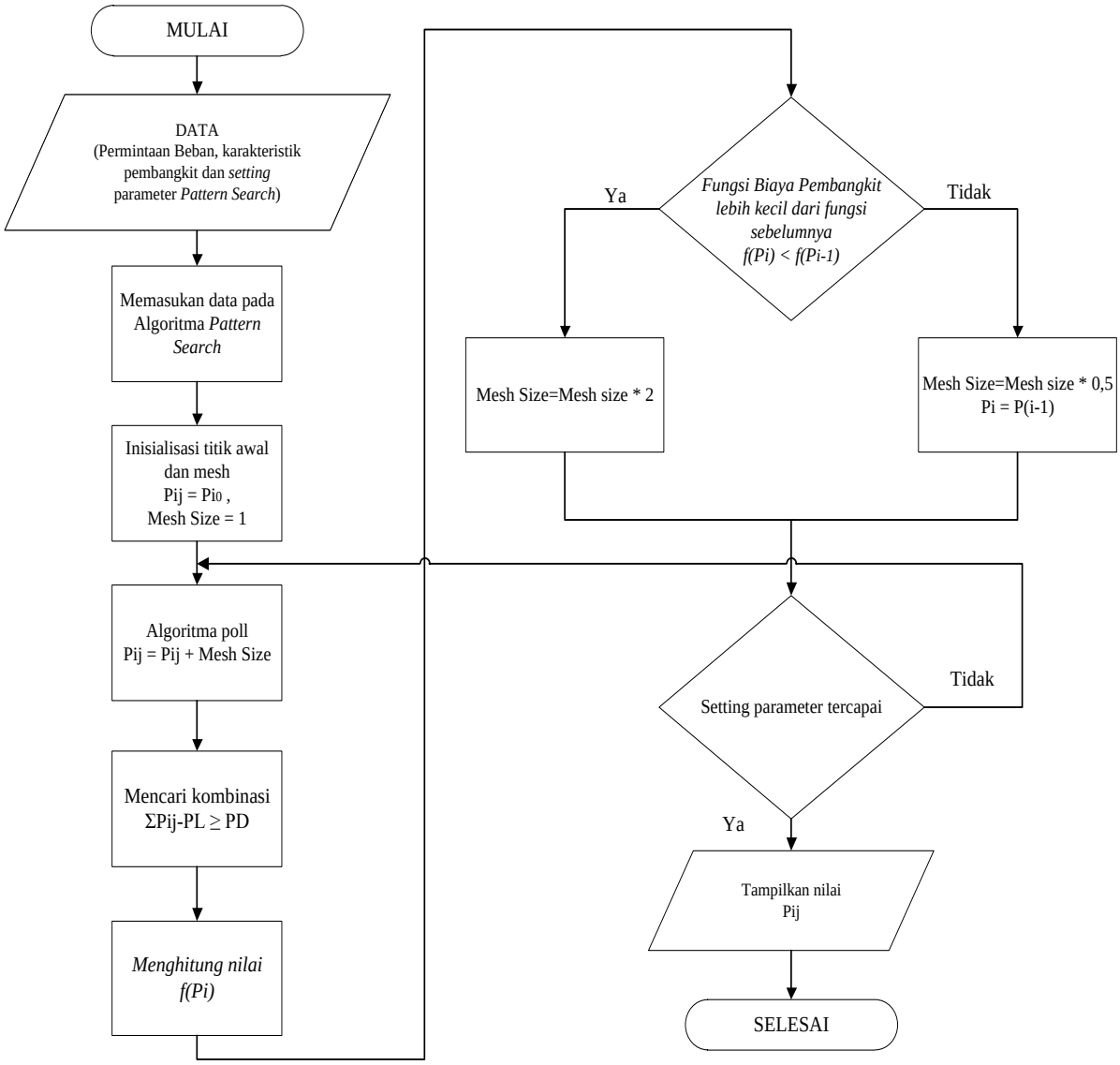
Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian Skripsi

Berdasarkan flowchart pada gambar 3.2, maka langkah-langkah penelitian skripsi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi teori, dalam skripsi yang membahas tentang optimasi pembangkit termal dengan menggunakan metode *pattern search* ini maka terlebih dulu dipelajari tentang teori-teori optimasi pembangkitan, bagaimana menentukan

karakteristik *input-output* pembangkit, membuat persamaan biaya bahan bakar dan metode yang akan digunakan.

2. Langkah berikutnya adalah mengumpulkan data yang akan digunakan. Adapun data yang diperlukan adalah data pembangkitan minimum-maksimum pembangkit, data *heat-rate*, data pembebanan unit pembangkit dan saluran transmisi dari PT. PLN P3B Jawa-Bali.
3. Langkah ketiga adalah mengolah data-data tersebut menjadi parameter yang bisa digunakan untuk *input* perhitungan optimasi menggunakan MATLAB.
4. Pencarian jadwal pembangkit yang optimal menggunakan *pattern search* pada MATLAB dan Analisa hasil penjadwalan.
5. Solusi yang diperoleh dari hasil optimasi dan kesimpulan.
6. Selesai.



Gambar 1.3 Diagram Alir Penyelesaian Penjadwalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Metode *Pattern Search*

Dalam penelitian ini, proses optimasi pembangkitan menggunakan software MATLAB untuk mempermudah proses perhitungan. Adapun penjelasan gambar 3.3 yang berisi tentang langkah optimasi menggunakan software MATLAB adalah sebagai berikut:

1. Proses optimasi dimulai dari melakukan inisialisasi terhadap parameter-parameter yang ada. Paremeter tersebut adalah berupa persamaan biaya bahan bakar setiap pembangkit, batas kerja pembangkit, koefisien rugi-rugi transmisi dan *setting* penghentian algoritma *pattern search*. Adapun hal yang di*setting*

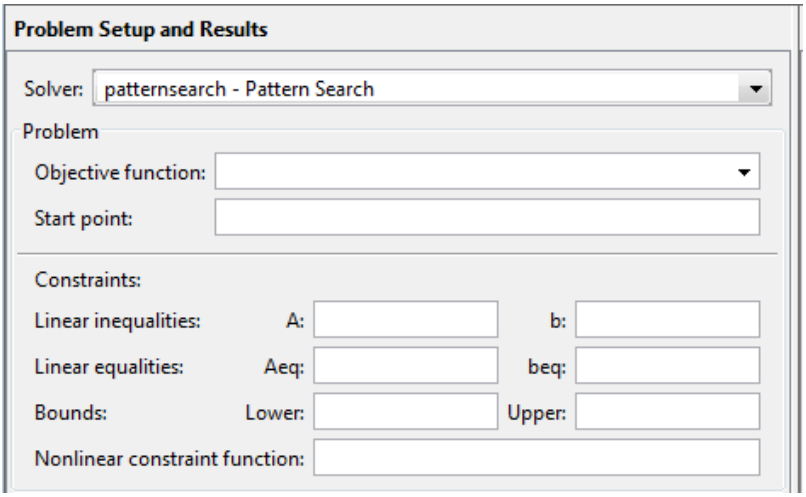
berupa toleransi perbedaan minimum antara dua nilai daya yang dibangkitkan pada dua iterasi berturut-turut, toleransi perubahan nilai fungsi objektif dari kondisi sukses *poll* menuju sukses *poll* berikutnya dan toleransi nilai *mesh size*.

2. Setelah semua parameter dimasukan maka proses optimasi bisa dimulai. Selanjutnya *software* akan melakukan perhitungan.
3. Untuk awal optimasi menggunakan *pattern search* yaitu dilakukan inisialisasi terhadap daya yang dibangkitkan tiap pembangkit secara acak.
4. Nilai daya selanjutnya di tambah-kurang *mesh size*.
5. Mengevaluasi fungsi objektif setiap titik kemungkinan.
6. Selanjutnya nilai fungsi objektif akan di bandingkan dengan nilai fungsi hasil iterasi sebelumnya. Apabila,
   - Fungsi objektif lebih kecil dari fungsi objektif sebelumnya maka *mesh* size*2.
   - Fungsi objektif lebih besar dari fungsi objektif sebelumnya maka *mesh* size*0,5, dan titik optimasi akan menggunakan titik sebelumnya (Pij = Pi(j-1)).
7. Apabila salah satu parameter dibawah terpenuhi, maka nilai dari Pij adalah nilai akhir dari proses optimasi,
   - *Mesh size* lebih kecil dari toleransi *mesh* size.
   - Jarak antara titik pertama yang ditemukan dengan kondisi sukses *poll* dan titik kedua dengan kondisi yang sama lebih kecil dibandingkan toleransi Pij.
   - Perubahan nilai fungsi objektif dari kondisi sukses *poll* menuju sukses *poll* berikutnya lebih kecil dari toleransi nilai fungsi.
8. Selesai.

1.5 Pattern Search Toolbox

Pemodelan *pattern search* untuk penjadwalan pembangkit menggunakan *pattern search toolbox* pada software *Matlab Version 7.12.0.635 (R2011a)* dari Mathwork Corp.

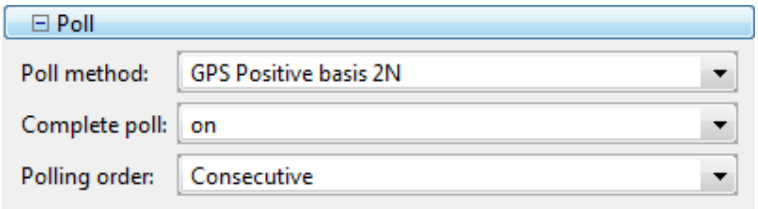
1. Menentukan fungsi objektif dan pembatas pada *pattern search toolbox*.



Gambar 1.4 *Problem setup and results editor*

Fungsi objektif yang akan di optimasi dalam permasalah ini adalah fungsi biaya bahan bakar, sedangkan untuk pembatas berupa daya minimum dan maksimum pembangkit. Fungsi dari rugi-rugi transmisi yang direpresentasikan lewat koefisien B masuk dalam persamaan linear.

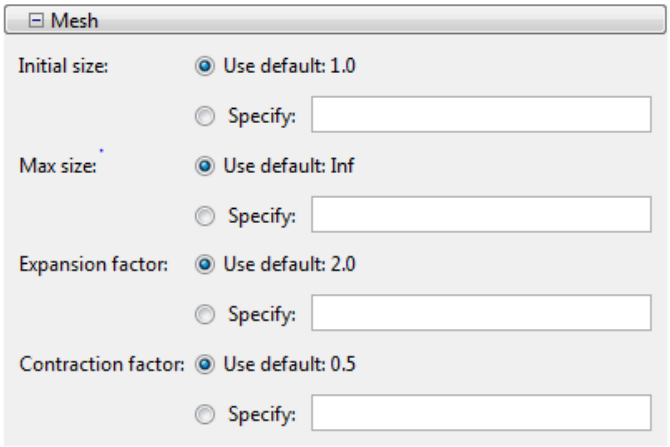
2. Menentukan metode poll



Gambar 1.5 *Algorithm Poll editor*

Poll options mengendalikan bagaimana *poll* mencari titik *mesh*. *Option* ini bergantung pada algoritma *poll* yang dipakai, namun untuk penelitian ini memakai *Generalize Pattern Search* (GPS).

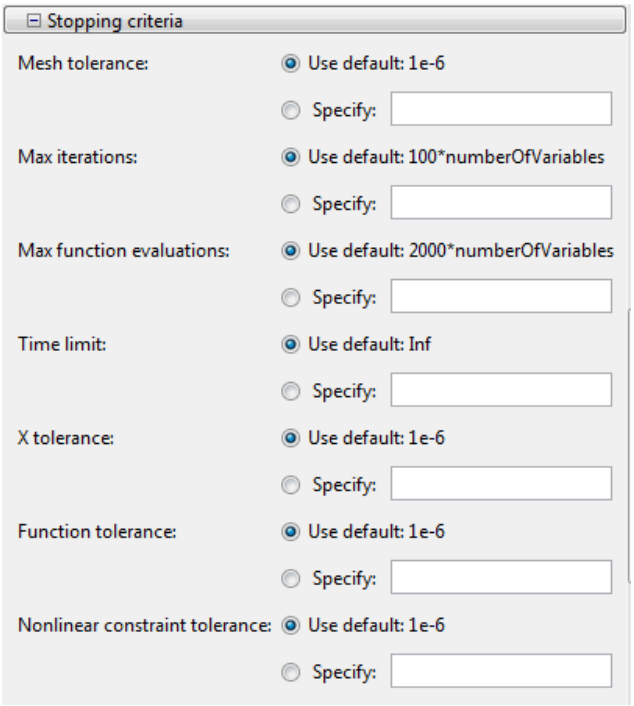
3. Menentukan nilai *mesh*



Gambar 1.6 *Mesh editor*

Dalam *mesh option* mengontrol *pattern search*. *Initial size* menentukan ukuran *mesh* awal, yang merupakan panjang vektor dari titik awal ke titik *mesh*. menentukan ukuran maksimum untuk *mesh*. Ketika ukuran maksimum tercapai, ukuran *mesh* tidak lagi meningkatkan setelah iterasi sukses. Untuk faktor ekspansi dan penyusutan di atur pada nilai 2,0 dan 0,5.

4. Parameter penghentian algoritma



Gambar 1.7 *Stopping criteria editor*

Algoritma akan menghentikan pencarian apabila parameter pada *stopping criteria* terpenuhi (lebih kecil dari nilai yang di tentukan). *Mesh tolerance* menentukan toleransi minimum untuk ukuran *mesh*. Hal ini menunjukan bahwa algoritma tidak bisa menemukan nilai yang lebih optimal, sehingga *mesh size* akan dikalikan dengan faktor penyusutan berkali-kali sampai nilainya lebih kecil dari toleransi. *Max iteration* merupakan batas iterasi maksimal, meskipun nilai optimal belum tercapai, namun sudah melebihi nilai iterasi maksimal maka pencarian akan dihentikan. *Max function evaluation* menentukan jumlah maksimum evaluasi dari fungsi objektif dan fungsi kendala. *Time limit* menentukan waktu maksimum dalam detik algoritma pola pencarian berjalan sebelum berhenti. *X Tolerance* menentukan perbedaan minimum antara dua nilai iterasi berturut-turut. Function tolerance fungsi menentukan toleransi terminasi untuk nilai fungsi objektif. *Nonlinear constraint tolerance* bukanlah kriteria berhenti, namun menentukan kelayakan pelanggaran kendala maksimum nonlinear.