



***UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE ADVANCED
FORWARD DYNAMIC PROGRAMMING PADA SISTEM KELISTRIKAN
JAWA-BALI 500 kV***

SKRIPSI

Oleh

**Karimatun Nisa
NIM 131910201061**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



***UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE ADVANCED
FORWARD DYNAMIC PROGRAMMING PADA SISTEM
KELISTRIKAN JAWA-BALI 500 kV***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Karimatun Nisa
NIM 131910201061**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Saya haturkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan karunia dan kasih sayang-Nya kepada saya. Sholawat serta salam kepada Rasulullah SAW yang senantiasa memberikan syafaatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk menuju kesuksesan yang lebih baik, karenanya dengan segala kerendahan hati kupersembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dwi Sulistyowati Ulfah dan Ayah Suhartono yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepada saya.
4. Adikku Ahmad Arif Fathoni dan Hartini Nur Fadhilah yang saya sayangi dan banggakan telah membantu dalam doa dan dukungan kepada saya.
5. Dosen Pembimbing Utama Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., dan Ir. Widyono Hadi, M.T. Dosen Pembimbing Anggota Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. yang bersedia meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing dan memberikan motivasi.
6. Semua guru-guru dari TK Kartini II, SD Negeri Jetis VII, SMP Negeri 1, dan SMA Negeri 2 Lamongan serta seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah berbagi ilmu yang sangat bermanfaat.
7. Rudy Arnax Prihiawan yang telah setia membantu, menemani, dan mendampingi dalam pengerjaan skripsi ini hingga selesai.
8. Keluarga besar Asisten Laboratorium Listrik Dasar Fakultas Teknik Universitas Jember yang selalu membantu dan menemani kami baik suka maupun duka.
9. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.

10. Keluarga kos Khansa yang rela berbagi kisah baik suka maupun duka, saling menguatkan dan juga mengingatkan.
11. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
12. Serta seluruh pihak yang tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, kusampaikan terimakasih banyak atas segalanya.



MOTTO

“Sesungguhnya besarnya pahala itu bergantung daripada besarnya ujian. Barangsiapa yang ridho, mendapat keridhoan Allah dan barangsiapa yang murka, maka mendapat kemurkaan Allah.”

(HR. Tirmidzi, Ibnu Majah)

“Yang menjadikan mati dan hidup, supaya Dia menguji kamu, siapa di antara kamu yang lebih baik amalnya.”

(Al-Mulk/67:2).

“Kalau kau terlalu ambisius ingin berhasil, dengan sendirinya kau sedang menciptakan rasa takut mendapatkan kegagalan “

(Pidi Baiq)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Karimatun Nisa

NIM : 131910201061

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “*Unit Commitment Menggunakan Metode Advanced Forward Dynamic Programming* pada Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Desember 2017

Yang menyatakan,

Karimatun Nisa
NIM 131910201061

SKRIPSI

***UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE ADVANCED
FORWARD DYNAMIC PROGRAMMING PADA SISTEM
KELISTRIKAN JAWA-BALI 500 kV***

Oleh

Karimatun Nisa
NIM 131910201061

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Unit Commitment Menggunakan Metode Advanced Forward Dynamic Programming* pada Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV” karya Karimatun Nisa telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 5 Desember 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Anggota II,

H.R.B. Moch Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T. M.T.
NIP 197104022003121001

Anggota III,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 197106141997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Unit Commitment Menggunakan Metode Advanced Forward Dynamic Programming pada Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV; Karimatun Nisa, 131910201061; 2017; 131 ; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam upaya pemenuhan kebutuhan listrik, tentunya dalam pengoperasian tenaga listrik akan ditemukan berbagai hambatan dalam penyaluran energi listrik ke konsumen. Untuk mengatasi hambatan tersebut, maka penyedia pasokan daya listrik membuat rencana operasi sistem tenaga listrik. Perencanaan operasi itu sendiri adalah perencanaan bagaimana suatu sistem akan dioperasikan untuk jangka waktu tertentu. Perencanaan tersebut antara lain berupa rencana jangka pendek, rencana jangka menengah, dan rencana jangka panjang. Hal tersebut bertujuan agar penyaluran energi listrik ke konsumen menjadi lebih optimal.

Salah satu rencana operasi pada sistem tenaga listrik jangka pendek yaitu penjadwalan operasi unit pembangkit. Dikarenakan naik turunnya pemakaian energi listrik mengikuti siklus kegiatan manusia sehari-hari, maka hal itu perlu diimbangi oleh pembangkit energi listrik. Mengikuti siklus pembangkitan energi listrik tersebut dilakukan penjadwalan unit yang *commit (on)* dan unit yang *decommit (off)* dalam siklus waktu tertentu agar pasokan kebutuhan listrik konsumen terpenuhi. Penjadwalan tersebut harus memerhatikan kondisi optimal ekonomi dan juga harus memenuhi batasan-batasan teknis dalam pengoperasian pembangkit di dalam sistem tenaga. Penjadwalan ini dikenal sebagai *unit commitment*.

Untuk penelitian kali ini akan membahas metode *advanced forward dynamic programming* untuk sistem *unit commitment* pada pembangkitan Jawa-Bali. Penelitian tersebut diharapkan dapat menyempurnakan beberapa penelitian sebelumnya. Karena setiap pembangkit dimodelkan dalam fungsi kuadrat, metode *advanced forward dynamic programming* dapat lebih efisien

menyelesaikannya. Metode *advanced forward dynamic programming* juga mampu menghemat *execution time* dengan menerapkan *neural network* pada salah satu *function* yang terdapat pada *listing* program *forward dynamic programming*.

Data *input* yang digunakan untuk proses *training* ada dua yaitu *state* sesuai dengan *feasible state* dan total beban. Sedangkan untuk data *output training* adalah *generation*. Tujuan dari proses *training* tersebut adalah untuk menghasilkan bobot berupa *input weight* (IW), *bias* (b), dan *layer weight* (LW). Bobot tersebut akan digunakan untuk menjalankan program dan menghasilkan proses penjadwalan yang optimal. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 2 data generator yaitu data dari buku Allen J. Wood dan P2B. Proses simulasi dilakukan dalam 6 kali percobaan yaitu 2 dari data generator buku Allen J. Wood dalam metode *complete enumeration* dan *priority list*. Sedangkan data P2B hanya dalam metode *priority list* untuk 4 tanggal yaitu 05, 09, 11, dan 25 Desember 2016. Proses *training* program dilakukan sekali untuk tiap data generator.

Hasil simulasi menggunakan metode *advanced forward dynamic programming* yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *forward dynamic programming*. Hasil simulasi dengan kedua metode tersebut sama-sama menghasilkan total *cost* yang optimal. Tetapi hasil simulasi menggunakan metode *advanced forward dynamic programming* didapatkan *execution time* yang lebih cepat daripada menggunakan metode *forward dynamic programming*.

SUMMARY

Unit Commitment Using Advanced Forward Dynamic Programming for Java Bali Electrical System 500 kV; Karimatun Nisa, 131910201061; 2017; 131; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In an effort to meet the needs of electricity, of course in the operation of electric power will be found a variety of barriers in the distribution of electrical energy to consumers. To overcome these obstacles, the power supply providers make plans for operating the power system. Planning the operation itself is planning how a system will be operated for a certain period of time. The plans include short-term plans, medium-term plans, and long-term plans. It aims to channel the electrical energy to consumers become more optimal.

One of the operating plans in the short-term power system is scheduling the operation of the generating unit. Due to the ups and downs of the use of electrical energy following the daily cycle of human activities, it needs to be balanced by electric power generation. Following the electric energy generation cycle, scheduling committed units (on) and units that are decommit (off) within a certain time cycle in order to supply the consumer's electricity needs are met. The scheduling should take into account the optimal economic conditions and must also meet the technical constraints in the operation of the power plant in the power system. This scheduling is known as unit commitment.

For this research will discuss advanced forward dynamic programming method for unit commitment system in Java-Bali generation. The study is expected to refine some of the previous studies. Since each plant is modeled in a quadratic function, advanced forward dynamic programming methods can more efficiently solve it. Advanced forward dynamic programming method is

also able to save execution time by applying neural network in one of the functions contained in the program listing forward dynamic programming.

The input data used for the training process are two, namely the state in accordance with feasible state and total load. As for output training data is generation. The purpose of the training process is to produce the weight of input weight (IW), bias (b), and layer weight (LW). The weights will be used to run the program and produce the optimal scheduling process. Data used in this research there are 2 data generator that is data from book Allen J. Wood and P2B. The simulation process was carried out in 6 experiments, 2 from Allen J. Wood's book generator data in complete enumeration and priority list method. While P2B data only in priority list method for 4 dates are 05, 09, 11, and December 25, 2016. The training process is done once for each data generator.

The simulation result using forward forward dynamic programming method obtained will be compared with the simulation result using forward dynamic programming. The simulation results with both methods produce the optimal total cost. But the result of simulation using advanced forward dynamic programming method get faster execution time than using forward dynamic programming method.

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Unit Commitment Menggunakan Metode *Advanced Forward Dynamic Programming* pada Sistem Kelistrikan Jawa-Bali 500 kV”**. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak akan bisa selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama serta Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya dalam membimbing dan memberikan motivasi.
6. Bapak H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T., selaku Penguji 1 dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T. M.T., selaku Penguji 2 yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis.
7. Ibu Dwi Sulistyowati Ulfah dan Ayah Suhartono yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan dukungan baik moril maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.

8. Adikku Ahmad Arif Fathoni dan Hartini Nur Fadhilah yang saya sayangi dan banggakan telah membantu dalam dukungan dan doa kuliah kami.
9. Bapak Catur, Bapak Gito, dan Bapak Martin yang telah membantu kami dalam proses pengambilan data di P2B Gandul.
10. Bapak Dr. Mat Syai'in., S.T., M.T., Ph.D yang telah membantu dan membimbing dalam pembuatan program.
11. Bapak Aris selaku dosen UNTAG yang telah membantu membimbing dalam materi skripsi.
12. Rudy Arnax Priiliawan yang selalu berada di sisi saya untuk meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam mendampingi saya mengerjakan skripsi hingga selesai.
13. Keluarga baru saya di Jember, khususnya Watik, Mbak Nurin, Mbak Ila, dan Sirly yang selalu menemani dan menyemangati di akhir perjuangan saya di Jember.
14. Keluarga kos khansa, khususnya Dini, Risa, Ike, Imas, , Retha, Yana, Yasmin, Firda, Dewi, dan Irun yang rela berbagi kisah baik suka maupun duka, saling menguatkan dan juga mengingatkan.
15. Keluarga besar Asisten Laboratorium Listrik Dasar Universitas Jember, khususnya Riko Cippratama, Prayogi Lazuardi R, Intho Nurshauma S, Rifki Bagus P, Moh. Arif W, Rijal Al Kautsar M, dan Alysa Karisma yang selama ini telah memberi motivasi dan kepedulian terhadap kami.
16. Laboratorium Teknologi Informasi Fakultas Teknik yang telah bersedia meminjamkan PC ketika proses *running* program berlangsung.
17. Kevinaldo Barevan (Teknik Elektro 2014) yang telah membantu saya dalam menemani pengambilan data di P2B Gandul.
18. Andes Pradesa, Triyan, Andri Wicaksono, M. Faisal Ali yang telah membantu dalam membagi ilmu dan pengalaman untuk pengerjaan skripsi.
19. Rudy Arnax Priiliawan, Fajriyansah Perdana, M. Faisal Ali, Firda Hanif dan Surya Ahmadi yang telah rela meminjamkan laptop untuk pengerjaan skripsi.

20. Sinta Okta Nandani yang selalu mendengarkan keluh kesah saya selama pengerjaan skripsi.
21. Abdul Ghofur, Riko Cippratama, dan Nurul Hidayah yang telah membantu dalam pengerjaan tata penulisan skripsi.
22. *Dedy's Team Forever* khususnya Rudy, Ratna, Erinna, Chyntia, Sulianto, Ilfah, dan Cahyo yang telah meluangkan waktu selama bimbingan, saling bertukar pikiran, menyemangati dan berjuang bersama untuk menyelesaikan skripsi.
23. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.
24. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember yang memberikan bantuan dalam urusan administrasi dan segala pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih banyak.

Semoga skripsi ini dapat memberikan informasi, dan manfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk dapat menyempurnakan skripsi ini.

Jember, 5 Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Unit Commitment.....	6
2.1.1 Pengertian	6
2.1.2 Constraint pada Unit Commitment.....	7
2.1.3 Metode Penyelesaian Unit Commitment	9
2.2 Metode Dynamic Programming (DP).....	11
2.2.1 Pengertian	11
2.2.2 Karakteristik Persoalan Dynamic Programming	12
2.2.3 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Dynamic Programming.....	14
2.3 Pendekatan Dynamic Programming	15
2.3.1 Backward Dynamic Programming	15
2.3.2 Forward Dynamic Programming	15
2.4 Advanced Forward Dynamic Programming	16
2.5 P2B Jawa Bali.....	17
2.6 Pembangkitan Listrik Jawa-Bali.....	18
2.6.1 PT. PJB.....	18
2.6.2 Indonesia Power	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23

3.1 Waktu dan tempat penelitian.....	23
3.2 Alat dan bahan	23
3.2.1 Personal Computer(PC)	23
3.2.2 Software MATLAB	24
3.2.3 Data generator dan pembebanan sistem tenaga listrik	24
3.3 Metodologi Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.4 Penentuan All state	32
3.4.1 Priority List.....	32
3.4.2 Complete Enumeration.....	34
3.5 Feasible state.....	34
3.5.1 Feasible State dengan Metode Priority List.....	35
3.5.2 Complete Enumeration.....	44
3.6 Economic Dispatch.....	45
3.6.1 Dispatch menggunakan Neural Network (NN)	46
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Prosedur Training Neural Network	50
4.1.1 Pengambilan Data Input dan Output.....	50
4.1.2 Proses Training	53
4.1.3 Pengujian Neural Network.....	57
4.2 Pengujian Performansi Unit Commitment.....	60
4.2.1 Hasil Simulasi Penjadwalan	61
4.2.2 Hasil Execution Time	66
4.3 Data P2B	69
4.3.1 Hasil Training Neural Network	69
BAB 5. KESIMPULAN.....	117
5.1 Kesimpulan	117
5.2 Saran	117
LAMPIRAN	121

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Contoh Hasil Perhitungan Optimum.....	7
Tabel 2.2 Contoh Biaya Produksi Rata-Rata.....	10
Tabel 2.3 Contoh Urutan Prioritas	11
Tabel 3.1 Data Input Generator Allen J. Wood	24
Tabel 3.2 Data Beban Generator Allen J. Wood	24
Tabel 3.3 Data Generator P2B	25
Tabel 3.4 Nama Pembangkit Thermal Menjadi Nomor Unit.....	26
Tabel 3.5 Data Beban 5 Desember 2016	27
Tabel 3.6 Data Beban 9 Desember 2016	28
Tabel 3.7 Data Beban 11 Desember 2016	28
Tabel 3.8 Data Beban 25 Desember 2016	29
Tabel 3.9 All State Priority List Data Generator Allen J. Wood	32
Tabel 3.10 All State Priority List Data Generator P2B	33
Tabel 3.11 All State Complete Enumeration Data Generator Allen J. Wood	34
Tabel 3.12 Feasible State Metode Priority List Data Allen J.Wood jam ke-1	35
Tabel 3.13 Feasible State Metode Priority List Data Allen J.Wood jam ke-2	35
Tabel 3.14 Feasible State Metode Priority List Data Allen J.Wood jam ke-3	35
Tabel 3.15 Feasible State Generator data P2B 5 Desember Jam ke-1	36
Tabel 3.16 Feasible State Generator data P2B 9 Desember Jam ke-1	38
Tabel 3.17 Feasible State Generator data P2B 11 Desember Jam ke-1	40
Tabel 3.18 Feasible State Generator data P2B 25 Desember Jam ke-1	42
Tabel 3.26 Feasible State Complete Enumeration Generator Data Allen Jam ke-1	44
Tabel 3.27 Feasible State Complete Enumeration Generator Data Allen Jam ke-2	44
Tabel 3.28 Feasible State Complete Enumeration Generator Data Allen Jam ke-3	45
Tabel 4.1 Input Neural Network dari Metode Complete Enumeration	51
Tabel 4.2 Output Neural Network dari Metode Complete Enumeration ..	52
Tabel 4.5 Input Weight Data Generator Allen J. Wood	54
Tabel 4.6 Bias Input Weight (bIW) Data Generator Allen J. Wood	55
Tabel 4.7 Bias Layer Weight (bLW) Data Generator Allen J. Wood	56
Tabel 4.8 Layer Weight Data Generator Allen J. Wood	56
Tabel 4.9 Feasible State Complete Enumeration Data Acak Beban 385 MW	57
Tabel 4.10 Feasible State Complete Enumeration Data Acak Beban 395 MW	58
Tabel 4.11 Feasible State Complete Enumeration Data Acak Beban 545 MW	58
Tabel 4.12 Data Input dan Output untuk Pengujian Neural Network	58

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Bobot Neural Network	59
Tabel 4.14 Full Cost Hasil Dispatch Data Allen J. Wood	62
Tabel 4.15 Hasil Pemilihan State Tiap Jam	63
Tabel 4.16 Hasil Penjadwalan Complete Enumeration Forward Dynamic Programming Data Generator Allen J. Wood	64
Tabel 4.17 Hasil Penjadwalan Complete Enumeration Advanced Forward Dynamic Programming Data Generator Allen J. Wood	64
Tabel 4.18 Hasil Penjadwalan Priority List Forward Dynamic Programming Data Generator Allen J. Wood	65
Tabel 4.19 Hasil Penjadwalan Priority List Advanced Forward Dynamic Programming Data Generator Allen J. Wood	65
Tabel 4.20 Perbandingan Execution Time Complete Enumeration pada Data Generator Allen J. Wood	66
Tabel 4.21 Perbandingan Execution Time Priority List pada Data Generator Allen J. Wood.....	68
Tabel 4.22 Input Neural Network Data Generator P2B 5 Desember 2016	70
Tabel 4.23 Output Neural Network Data Generator P2B 5 Desember 2016	71
Tabel 4.24 Input Weight Data Generator P2B	74
Tabel 4.25 Bias Input Weight Data Generator P2B.....	76
Tabel 4.26 Bias Layer Weight Data Generator P2B	76
Tabel 4.27 Layer Weight Data Generator P2B.....	77
Tabel 4.28 Hasil Penjadwalan Forward Dynamic Programming Data Generator P2B 5 Desember 2016.....	79
Tabel 4.29 Hasil Penjadwalan Advanced Forward Dynamic Programming Data Generator P2B 5 Desember 2016.....	83
Tabel 4.31 Hasil Penjadwalan Forward Dynamic ProgrammingData Generator P2B 9 Desember 2016.....	87
Tabel 4.31 Hasil Penjadwalan Advanced Forward Dynamic Programming Data Generator P2B 9 Desember 2016.....	91
Tabel 4.32 Hasil Penjadwalan Forward Dynamic ProgrammingData Generator P2B 11 Desember 2016.....	95
Tabel 4.33 Hasil Penjadwalan AdvancedForward Dynamic Programming Data Generator P2B 11 Desember 2016.....	99
Tabel 4.34 Hasil Penjadwalan Forward Dynamic Programming Data Generator P2B 25 Desember 2016.....	103
Tabel 4.35 Hasil Penjadwalan Advanced Forward Dynamic Programming Data Generator P2B 25 Desember 2016.....	107
Tabel 4.36 Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 5 Desember 2016.....	111
Tabel 4.37 Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 9 Desember 2016.....	112
Tabel 4.38 Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 11 Desember 2016.....	114
Tabel 4.30 Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 25 Desember 2016.....	115

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Perbandingan Biaya Start Dingin dan Panas.....	9
Gambar 2.2 Contoh Metode Dynamic Programming.....	13
Gambar 2.3 Grafik Metode Forward Dynamic Programming.....	16
Gambar 2.4 Sistem Kelistrikan Jawa Madura Bali	19
Gambar 2.5 Neraca Listrik Tiap Region Sistem Jawa Madura Bali	20
Gambar 2.6 Unit Bisnis Pembangkitan Indonesia Power	22
Gambar 3.1 Grafik Beban Simulasi Desember 2016	30
Gambar 3.2 Flowchart Advanced Forward Dynamic Programming (a) dan Forward Dynamic Programming (b)	31
Gambar 3.3 Struktur Neural Network Menggunakan Metode Advanced Forward Dynamic Programming Data Allen	47
Gambar 3.4 Struktur Neural Network pada Proses Unit Commitment Menggunakan Metode Advanced Forward Dynamic Programming Data P2B	48
Gambar 4.1 Proses Training pada Data Generator Allen J. Wood.....	54
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Neural Network	59
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Execution Time Complete Enumeration pada Data Generator Allen J. Wood	67
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Execution Time Priority List pada Data Generator Allen J. Wood.....	68
Gambar 4.5 Proses Training pada Data Generator P2B.....	73
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 5 Desember 2016.....	112
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 9 Desember 2016.....	113
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 11 Desember 2016.....	114
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Execution Time pada Data Generator P2B 25 Desember 2016.....	116

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan bentuk energi yang saat ini sangat penting digunakan untuk berbagai aktivitas oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Dalam upaya pemenuhan kebutuhan listrik, tentunya dalam pengoperasian tenaga listrik akan ditemukan berbagai hambatan dalam penyaluran energi listrik ke konsumen. Untuk mengatasi hambatan tersebut, maka penyedia pasokan daya listrik membuat rencana operasi sistem tenaga listrik. Perencanaan operasi itu sendiri adalah perencanaan bagaimana suatu sistem akan dioperasikan untuk jangka waktu tertentu. Perencanaan tersebut antara lain berupa rencana jangka pendek, rencana jangka menengah, dan rencana jangka panjang. Hal tersebut bertujuan agar penyaluran energi listrik ke konsumen menjadi lebih optimal.

Rencana operasi sistem tenaga listrik jangka pendek merupakan rencana operasi untuk satu minggu atau satu bulan ke depan. Sedangkan untuk rencana operasi jangka menengah memandang persoalan sistem sedikitnya untuk satu tahun yang akan datang dan untuk rencana operasi jangka panjang untuk pengembangan yang lebih besar di masa yang akan datang (Rahman, 2013).

Salah satu rencana operasi pada sistem tenaga listrik jangka pendek yaitu penjadwalan operasi unit pembangkit. Dikarenakan naik turunnya pemakaian energi listrik mengikuti siklus kegiatan manusia sehari-hari, maka hal itu perlu diimbangi oleh pembangkit energi listrik. Mengikuti siklus pembangkitan energi listrik tersebut dilakukan penjadwalan unit yang *commit (on)* dan unit yang *decommit (off)* dalam siklus waktu tertentu agar pasokan kebutuhan listrik konsumen terpenuhi. Penjadwalan tersebut harus memerhatikan kondisi optimal ekonomi dan juga harus memenuhi batasan-batasan teknis dalam pengoperasian pembangkit di dalam sistem tenaga. Penjadwalan ini dikenal sebagai *unit commitment*.

Banyak metode yang dapat digunakan dalam sistem *unit commitment*. Beberapa contoh metode yang digunakan yaitu *Dynamic Programming*, *Binary Differential Evolution*, dan *Lagrangian Relaxation*. Pada metode *dynamic*

programming konvensional lebih memerlukan waktu lama dalam perhitungan sehingga harus dikombinasikan dengan *Sequential Combination* (SC) dan *Truncation Combination* (TC) (Singhal & Sharma, 2011). Pada metode *Binary Differential Evolution* memang bagus untuk masalah *unit commitment* berdimensi kecil namun kurang baik untuk menyelesaikan masalah berdimensi besar. *Binary Differential Evolution* juga bagus untuk melakukan eksploitasi namun kurang baik untuk melakukan eksplorasi karena sifatnya yang bersifat semi terarah (Darmawan, Pudjoatmodjo, & Suliiyo, 2013). Sedangkan pada metode *Lagrangian Relaxation* ini sangat sensitif terhadap pengali *Lagrange*, sehingga dengan bertambahnya pengali *Lagrange* sulit dicari solusinya (Darmawan, Pudjoatmodjo, & Suliiyo, 2013).

Metode yang lebih sering digunakan dalam menyelesaikan masalah penjadwalan unit pembangkit adalah *dynamic programming*. Beberapa penelitian yang telah menggunakannya antara lain berjudul “Penjadwalan Pembangkit Hidro-Thermal Menggunakan Metode Dynamic Programming” (Rahmat, Abdullah, & Hasbullah, 2014) dan “Koordinasi Hidro Thermal Unit Pembangkitan Jawa–Bali Menggunakan Metode *Dynamic Programming*” (Mukhtar, 2014). Keduanya bertujuan untuk mencari hasil optimasi yang optimum berupa kombinasi unit pembangkit thermal yang nilai pembangkitannya paling murah untuk melayani beban sisa dari pembangkit hidro, sehingga didapat jumlah biaya bahan bakar yang minimum. Namun metode ini memiliki keterbatasan dimensi pada sistem tenaga listrik yang besar. Hal ini karena jumlah pembangkit yang akan dioperasikan semakin banyak, sehingga waktu untuk solusi pemecahan masalah optimal tiap unit pembangkit akan semakin lama.

Maka dari itu, untuk penyelesaian *Unit Commitment* digunakan *dynamic programming* (DP) dengan *forward approach* (Hidayat, 2012). Pendekatan *forward* dalam metode *dynamic programming* yang memiliki kelebihan-kelebihan dalam penyelesaian *unit commitment*. Contohnya, jika biaya *start-up* suatu unit merupakan fungsi waktu dan sedang dalam keadaan mati, maka pendekatan *forward dynamic programming* lebih cocok karena keadaan sebelumnya dari unit tersebut dapat dimasukkan ke dalam perhitungan pada setiap *stage*-nya.

Keuntungan lain dari *forward dynamic programming* adalah kondisi awal dapat dengan mudah ditentukan dan perhitungan dapat terus berlanjut selama diperlukan.

Metode *forward dynamic programming* ini telah digunakan dalam penelitian yang berjudul “*Unit Commitment dengan Forward Dynamic Programming Mempertimbangkan Ramp-Rate dan Karakteristik Input-Output Non-Linier Pada Setiap Pembangkit di Microgrid*” (Gana, Penangsang, & Wibowo, 2014). Dalam penelitian tersebut hanya mengatur jadwal pembangkitan pada sistem *microgrid* saja. Pada penelitian ini, parameter *ramp-rate* yang digunakan sebagai batasan yang dipertimbangkan. Setiap pembangkit dimodelkan dalam fungsi kuadrat sehingga diperlukan penambahan metode *quadratic programming* dalam menyelesaikan masalah ekonomisnya. Kemudian diperlukan penyempurnaan untuk program *unit commitment* dengan *forward dynamic programming* pada *microgrid* dalam penjadwalan dengan optimasi tinggi. Untuk penelitian kali ini akan membahas metode *advanced forward dynamic programming* untuk sistem *unit commitment* pada pembangkitan Jawa-Bali. Penelitian tersebut diharapkan dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya yang hanya terdapat di lingkup kecil (*microgrid*). Karena setiap pembangkit dimodelkan dalam fungsi kuadrat, metode *advanced forward dynamic programming* dapat lebih efisien menyelesaikannya. Metode *advanced forward dynamic programming* juga lebih menghemat waktu *running* dan penggunaan ruang dalam penyelesaiannya jika jumlah unit yang digunakan terlalu banyak. Semoga metode ini dapat menyelesaikan masalah penjadwalan unit pembangkit agar lebih efisien dalam memenuhi kebutuhan beban konsumen.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu terhadap permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka rumusan masalah yang ditekankan adalah masalah penjadwalan pembangkitan menggunakan metode *advanced forward dynamic programming* dalam *unit commitment* pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.

1. Bagaimana menyusun *advanced forward dynamic programming* dalam menyelesaikan permasalahan *unit commitment*?
2. Bagaimana penerapan *advanced forward dynamic programming* dalam menyelesaikan permasalahan *unit commitment* untuk sistem kelistrikan area pembangkitan Jawa-Bali agar didapatkan sistem penjadwalan yang optimal?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang *advanced forward dynamic programming* dalam menyelesaikan permasalahan *unit commitment*.
2. Menerapkan *advanced forward dynamic programming* dalam menyelesaikan permasalahan *unit commitment* pada sistem kelistrikan area pembangkitan Jawa-Bali agar didapatkan sistem penjadwalan yang optimal .

1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui hasil analisis *unit commitment* menggunakan metode *advanced forward dynamic programming* dapat diperoleh pendekatan yang paling efisien untuk melakukan penjadwalan sesuai kondisi di lapangan dan menyempurnakan metode sebelumnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian yang dibuat adalah:

1. Penelitian ini menggunakan *software* MATLAB.
2. Diasumsikan bahwa unit pembangkit dan beban berada dalam kondisi normal yaitu berada pada kondisi pengoperasian terbaiknya.
3. Diasumsikan bahwa unit pembangkit berada dalam keadaan *on* selama 24 jam.
4. Karakteristik *input-output* dari masing-masing unit diasumsikan sama dengan kondisi awal.
5. Nilai *Scost* diasumsikan 0.
6. *Dispatch method linier programming* pada *forward dynamic programming*.
7. Simulasi penjadwalan menggunakan unit pembangkit dari perusahaan PT. Pembangkitan Jawa Bali dan Indonesia Power.
8. Penelitian ini menggunakan data terbaru dari P2B berupa unit pembangkit sistem Jawa – Bali (500 KV) dan pembebanan bulan Desember 2016.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unit Commitment

2.1.1 Pengertian

Unit commitment atau biasa disingkat dengan UC merupakan suatu bentuk penjadwalan produksi daya yang dihasilkan oleh suatu unit pembangkit pada periode harian atau mingguan yang akan datang dengan tujuan untuk mendapatkan biaya operasional yang ekonomis dari pembangkitan. Naik turunnya pemakaian energi (beban) listrik mengikuti siklus kegiatan manusia sehari-hari. Naik turunnya pemakaian energi listrik selalu diimbangi oleh pembangkitan energi listrik dalam sistem. Mengikuti siklus pembangkitan energi listrik tersebut dilakukan penjadwalan unit yang *commit (on)* dan unit yang *off* dalam siklus waktu tertentu. Penjadwalan tersebut memperhatikan kondisi optimal ekonomi selain itu harus memenuhi batasan-batasan teknis dalam pengoperasian pembangkit di dalam sistem tenaga.

UC merupakan masalah yang dirasa penting dalam suatu perencanaan operasi jangka pendek dari sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi unit-unit pembangkit (*on/off*) yang bekerja dan tidak perlu bekerja pada suatu periode untuk memenuhi kebutuhan beban sistem pada periode tersebut dengan biaya paling ekonomis. Untuk mengetahui jumlah kombinasi unit pembangkit bisa menggunakan rumus:

$$C = 2^{n-1} \text{ (buah)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

C = jumlah kombinasi

n = jumlah unit pembangkit

Dalam menentukan kombinasi unit pembangkit memerlukan evaluasi pemilihan dengan menghitung biaya optimum atau *economic dispatch* untuk setiap kombinasi sehingga bisa ditentukan kombinasi unit pembangkit mana yang memiliki biaya optimum yang terendah dari kombinasi-kombinasi yang ada pada beban tertentu.

Misalkan terdapat contoh yang diketahui data *input* atau *output* pembangkit sebagai berikut

$$F_1 = 561 + 7,92 P_1 + 0,001562 P_1^2 \quad (2.2)$$

$$F_2 = 310 + 785 P_2 + 0,001940 P_2^2 \quad (2.3)$$

$$F_3 = 93,6 + 9,564 P_3 + 0,005794 P_3^2 \quad (2.4)$$

Nilai daya P1 lebih besar dari 150 MW dan lebih kecil dari 600 MW. Nilai daya P2 lebih besar dari 100 MW dan lebih kecil dari 400 MW. Sedangkan nilai P3 lebih besar dari 50 MW dan lebih kecil dari 200 MW. Pada beban Pr sebesar 550 MW, diperiksa kondisi optimum untuk setiap kombinasi *on* atau *off* unit pembangkit. Dari hasil perhitungan optimum, dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Contoh Hasil Perhitungan Optimum

Unit Pembangkit				Output Optimum			Biaya Unit Optimum			Total
Unit 1	Unit 2	Unit 3	Pmax (MW)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	F1 (R/h)	F2 (R/h)	F3 (R/h)	Ft (R/h)
0	0	1	200	-	-	-	-	-	-	-
	1	0	400	-	-	-	-	-	-	-
0	1	1	600	0	400	150	0	3760	1658	5418
1	0	0	600	550	0	0	5389	0	0	5389
1	0	1	800	500	0	50	4911	0	586	5497
1	1	0	1000	295	255	0	3030	2440	0	5471
1	1	1	1200	267	233	500	2787	2244	586	5617

(Hidayat, 2012)

2.1.2 Constraint pada Unit Commitment

Constraint merupakan pembatasan di dalam pengambilan keputusan untuk menentukan pilihan kombinasi *on* atau *off* unit pembangkit yang akan dijadwalkan. Pembatasan ini diperlukan agar pilihan kombinasi *on/off* pembangkit yang akan dijadwalkan dapat menjaga sistem selalu berada pada kondisi normal dan ekonomis dalam pengopersiannya.

a. Kemampuan Daya *Output* Minimum dan Maksimum

Adalah batasan daya *output* minimum dan maksimum yang dibangkitkan oleh suatu unit.

b. *Thermal unit Constraint*

1. *Minimum up time*

Minimum up time merupakan interval waktu minimum dimana suatu unit yang baru *on* (terhubung ke sistem) tidak boleh dilepas (*off*) kembali sebelum melewati batas *up time*-nya. Contoh sebuah unit mempunyai *minimum up time* 2 jam yang artinya bila unit ini baru terhubung (*on*) ke sistem belum ada 2 jam (kurang dari 2 jam), unit ini tidak boleh dilepas (*off*).

2. *Minimum Down Time*

Minimum down time adalah interval minimum di mana suatu unit dalam keadaan *decommit* (*off*) tidak boleh dihubungkan ke sistem (*on*) sebelum melewati batas *down time*-nya.

c. *Fuel Constraint*

Terbatasnya ketersediaan bahan bakar pada suatu pembangkit.

d. Biaya *start* (*Start-Up Cost*)

Biaya *start* adalah biaya yang diperlukan oleh pembangkit untuk *start* dari keadaan tidak beroperasi (terhubung ke sistem tenaga listrik).

1. Biaya *start* dingin

Kondisi ini terjadi karena saat pembangkit dilepas dari sistem (tidak beroperasi) temperatur *boiler* dibiarkan turun dari temperatur kerjanya, sehingga pada saat akan beroperasi dilakukan pemanasan kembali.

$$\text{Biaya Start} = C_c \left(1 - e^{-\frac{1}{\alpha}}\right) F + C_f \quad \text{R/h} \quad (2.5)$$

Keterangan:

C_c = koefisien biaya *start* dingin (Mbtu)

F = *fuel cost* (R/Mbtu)

C_f = *fixed cost* (R/h)

T = waktu selama unit dingin (dihitung dari awal unit tidak beroperasi)

α = *thermal time Constraint*

2. Biaya *start* panas

Kondisi ini terjadi karena saat pembangkit dilepas dari sistem (tidak beroperasi) temperatur *boiler* tetap dijaga pada temperatur kerjanya.

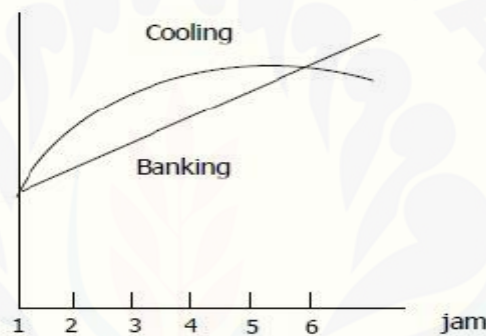
Biaya *start*: $C_t \cdot t \cdot F + C_f$ (2.6)

C_t = biaya untuk menjaga temperatur *boiler* (MBtu/h)

F = *fuel cost* (R/MBtu)

C_f = *fixed cost* (R/h)

Biaya start



Gambar 2.1 Perbandingan Biaya *Start* Dingin dan Panas
(Hidayat, 2012)

3. Biaya Penghentian Operasi (*Shut Down Cost*)

Adalah biaya yang harus dikeluarkan pada saat unit pembangkit dihentikan operasinya karena gangguan terencana atau gangguan insidental. Dengan demikian, kriteria yang ingin dituju dalam optimasi penjadwalan unit-unit pembangkit thermal adalah optimalisasi minimum biaya bahan bakar untuk tiap kombinasi unit dalam sistem tenaga listrik berdasarkan beban total yang dikenakan oleh UPB dan P3B.

2.1.3 Metode Penyelesaian *Unit Commitment*

Ada beberapa permasalahan yang terdapat dalam merencanakan jadwal pembangkitan (UC). Antara lain:

- a. Harus ada pola pembebanan untuk M periode waktu dalam suatu siklus.
- b. Terdapat n buah pembangkit yang *commit* (*on*) dan dengan *output* optimum (*economic dispatch*).
- c. Pada M level beban dan batas operasi dari n unit pembangkit, setiap unit pembangkit dapat mencatu beban individunya dan setiap kombinasi dari unit pembangkit dapat juga mencatu beban.

Dari hal tersebut maka untuk n buah pembangkit dan M level beban terdapat:

$$C = 2^{n-1} \text{ buah kombinasi } on/off \text{ unit pembangkit} \quad (2.7)$$

$$X = (2^{n-1})^M \text{ buah persamaan yang harus diselesaikan} \quad (2.8)$$

Keterangan:

C = jumlah kombinasi

X = jumlah persamaan

n = jumlah pembangkit

M = level beban

Terlihat dari hal tersebut diatas, penyelesaian *Unit Commitment* memerlukan dimensi yang sangat besar untuk ruang perhitungan atau penyelesaian persamaan.

Oleh karena itu, diperlukan teknik untuk solusi persoalan *Unit Commitment*.

- a. Daftar prioritas

Pada metode ini kombinasi *on* atau *off* unit pembangkit didasarkan pada urutan prioritas. Untuk menentukan urutan prioritas diperoleh dari biaya produksi rata-rata persatuan *output* yang didasarkan pada P_{max} .

$$\text{Biaya produksi rata - rata} = \frac{F(P_{max})}{P_{max}} \quad (2.9)$$

Dari data pembangkit contoh tabel 2.1, biaya produksi rata-rata dan urutan prioritas adalah:

Tabel 2.2 Contoh Biaya Produksi Rata-Rata

Unit	Biaya produksi rata-rata (R/MWh)
1	9,7922
2	9,4010
3	11,1908

Urutan prioritasnya: unit 2, unit 1, dan unit 3. Dari urutan prioritas 3 unit pembangkit tersebut kombinasi pembangkitnya adalah:

Tabel 2.3 Contoh Urutan Prioritas

No Kombinasi	Unit		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	1	0
3	0	1	1

b. *Dynamic Programming*

Aplikasi dari metode digital untuk memecahkan berbagai persoalan kontrol dan optimasi dinamis mendorong ilmuwan Dr. Richard Bellman dan koleganya untuk menemukan metode *dynamic programming*. Metode ini sangat berguna untuk memecahkan berbagai persoalan dan mengurangi perhitungan dalam menemukan trayektori optimal. Untuk penyelesaian UC digunakan *dynamic programming* (DP) dengan *forward approach* (Hidayat, 2012).

2.2 Metode Dynamic Programming (DP)

2.2.1 Pengertian

DP merupakan salah satu teknik perancangan algoritma yang dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan yang sangat kompleks dengan memecah permasalahan tersebut menjadi banyak sub permasalahan. DP mirip seperti metode *divide-and-conquer* *Divide-and-conquer*. Metode *divide-and-conquer* membagi permasalahan menjadi sub permasalahan yang *independent*. Kemudian menyelesaikan *subproblem* secara rekursif dan mengkombinasikan solusi tersebut untuk menyelesaikan permasalahan utama. Sedangkan pada metode *dynamic programming* cocok digunakan ketika *subproblem* tidak *independent*, jadi ketika *subproblem* terbagi menjadi sub-subproblem (H., 2012).

Dynamic programming biasanya digunakan untuk masalah optimisasi. Permasalahan tersebut memiliki banyak solusi. Setiap solusi memiliki nilai

masing-masing. Tujuannya ingin ditemukan solusi dengan nilai yang optimum (maksimal atau minimal).

Dynamic programming dapat dibagi menjadi empat tahap yang berurutan sebagai berikut :

1. Karakterisasi struktur pada solusi optimasi.
2. Mendefinisikan nilai solusi optimal secara rekursif.
3. Menghitung nilai solusi optimal pada model *bottom-up*.
4. Menyusun solusi optimal dari informasi hasil perhitungan.

Langkah 1 hingga 3 merupakan dasar dari metode *dynamic programming* dalam menemukan solusi untuk suatu permasalahan. Untuk langkah 4 dapat dilakukan jika nilai solusi optimal diperlukan (Suwono, 2010)

2.2.2 Karakteristik Persoalan *Dynamic Programming*

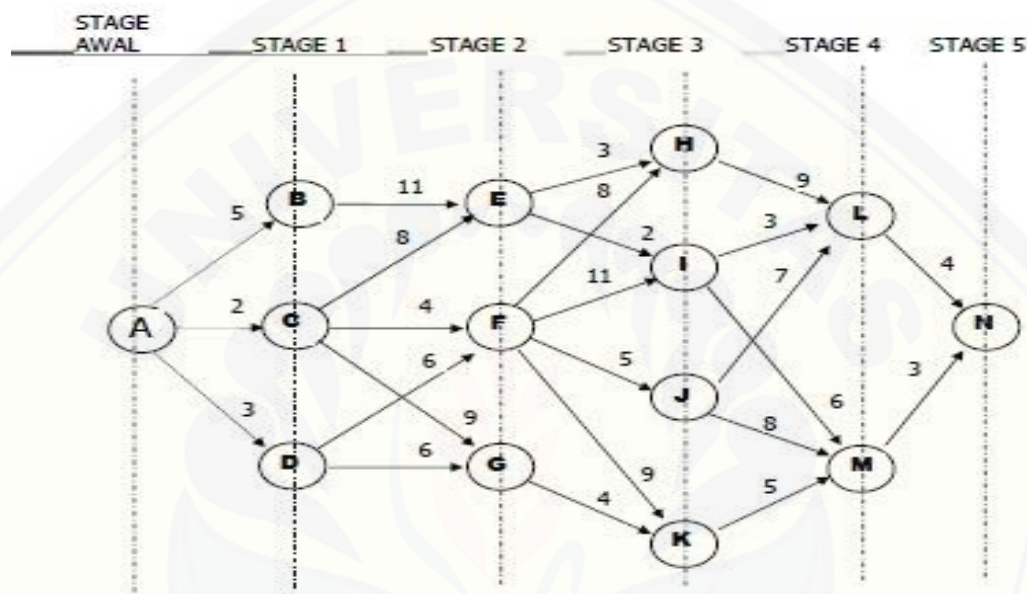
Karakteristik persoalan yang dimiliki oleh DP yaitu:

1. Persoalan dapat dibagi menjadi beberapa tahap (*stage*), yang pada setiap tahap hanya dapat diambil satu keputusan.
2. Masing-masing tahap terdiri dari sejumlah status (*state*) yang berhubungan dengan tahap tersebut. Secara umum, status merupakan bermacam kemungkinan masukan yang ada pada tahap tersebut. Jumlahnya bisa berhingga atau tak berhingga.
3. Hasil dari keputusan yang diambil pada setiap tahap ditransformasikan dari status yang bersangkutan ke status berikutnya pada tahap berikutnya.
4. Ongkos (*cost*) pada suatu tahap meningkat secara teratur (*steadily*) dengan bertambahnya jumlah tahapan.
5. Ongkos pada suatu tahap bergantung pada ongkos tahap-tahap yang sudah berjalan dan ongkos pada tahap tersebut.
6. Keputusan terbaik pada suatu tahap bersifat independen terhadap keputusan yang dilakukan pada tahap sebelumnya.
7. Adanya hubungan rekursif yang mengidentifikasi keputusan terbaik untuk setiap status pada tahap k memberikan keputusan terbaik untuk setiap status pada tahap $k + 1$.

8. Prinsip optimalitas berlaku pada persoalan tersebut (Sitanggang, 2015).

Sebelum mengaplikasikan DP untuk UC, berikut ini sebuah model persoalan yang dapat digunakan untuk memahami metode DP. Di dalam DP terdapat:

1. *State* yaitu terminal-terminal dengan kondisi tertentu.
2. *Stage* yaitu kumpulan dari *state* pada level tertentu.



Gambar 2.2 Contoh Metode Dynamic Programming
(Hidayat, 2012)

Gambar 2.2 merupakan model yang berupa model pembiayaan suatu proses yang diawali dari *state* A sampai ke *state* akhir N, dengan melalui banyak pilihan lintasan pembiayaan. Terdapat 5 *stage*, dimana setiap *stage* memiliki beberapa *state*. Dari kondisi tersebut dilakukan penyelesaian yang termurah dari *state* A sampai *state* N. Formulasi dari DP adalah sebagai berikut:

X_n adalah *stage* ke n

A *state* awal

X_1 berisi *state* B, C, D

X_2 berisi *state* E, F, G

X_3 berisi *state* H, I, J, K

X_4 berisi *state* L, M

X_5 berisi *state* N

S adalah variabel *state* yang berada di *stage* x_{n-1}

(Hidayat, 2012)

2.2.3 Kelebihan dan Kekurangan Sistem *Dynamic Programming*

Kelebihan yang dimiliki oleh metode *dynamic programming* antara lain:

1. Mengoptimalkan penyelesaian suatu masalah tertentu yang diuraikan menjadi sub-sub masalah yang lebih kecil yang terkait satu sama lain dengan tetap memperhatikan kondisi dan batasan permasalahan tersebut.
2. Proses pemecahan suatu masalah yang kompleks menjadi sub-sub masalah yang lebih kecil membuat sumber permasalahan dalam rangkaian proses masalah tersebut menjadi lebih jelas untuk diketahui.
3. Pendekatan DP dapat diaplikasikan untuk berbagai macam masalah pemrograman matematik, karena DP cenderung lebih fleksibel daripada teknik optimasi lain.
4. Prosedur perhitungan DP juga memperkenankan bentuk analisis sensitivitas terdapat pada setiap variabel status (*state*) maupun pada variabel yang ada di masing-masing tahap keputusan (*stage*).
5. DP dapat menyesuaikan sistematisa perhitungannya menurut ukuran masalah yang tidak selalu tetap dengan tetap melakukan perhitungan satu persatu secara lengkap dan menyeluruh.

Kelemahan yang dimiliki oleh metode DP yaitu penggunaan DP jika tidak dilakukan secara tepat, akan mengakibatkan ketidakefisienan biaya maupun waktu. Karena dalam menggunakan DP diperlukan keahlian, pengetahuan, dan seni untuk merumuskan suatu masalah yang kompleks, terutama yang berkaitan dengan penetapan fungsi transformasi dari permasalahan tersebut (Sitanggang, 2015).

2.3 Pendekatan Dynamic Programming

2.3.1 Backward Dynamic Programming

Prinsip untuk *forward dynamic programming* adalah analisis dilakukan dengan menghitung *path* (jalur) dari *source* ke suatu *node* yang memiliki rumus:

$$\text{bcost}(i,j) = \min\{\text{bcost}(i-1,l) + c(l,j)\} \quad (2.10)$$

Perhitungan dimulai dari *node-node* di stage 3. Bcost (i,j) artinya panjang lintasan *backward* dari *source* (s) menuju *node* j di stage i. c (j,l) artinya panjang lintasan dari *node* j ke *node* l (Sitanggang, 2015).

2.3.2 Forward Dynamic Programming

Pendekatan maju (*forward*) memiliki keuntungan-keuntungan berbeda dalam menyelesaikan *unit commitment* generator. Sebagai contoh, jika biaya *start-up* sebuah unit ialah suatu fungsi waktu yang telah *offline* (yaitu, temperaturnya) maka suatu pendekatan *dynamic programming* lebih cocok karena keadaan unit sebelumnya dapat dihitung pada masing-masing tingkatan. Disitu alasan-alasan praktis lain untuk menuju *forward*. Kondisi-kondisi awal dengan mudah ditentukan dan perhitungannya bisa langsung maju (*forward*) pada waktu selama diperlukan. Algoritma pengulangan untuk menghitung biaya minimum dalam K jam dengan I kombinasi ialah:

$$F_{\text{cost}}(K, I) = \min_{\{J\}} [P_{\text{cost}}(K, I) + S_{\text{cost}}(K-1, L: K, I) + F_{\text{cost}}(K-1, L)] \quad (2.11)$$

dengan,

$F_{\text{cost}}(K, I)$ = biaya total paling kecil untuk mencapai *state* I dan *stage* K

$P_{\text{cost}}(K, I)$ = biaya produksi daya listrik pada *state* I dan *stage* K

$S_{\text{cost}}(K-1, L: K, I)$ = biaya *start* unit dari *state* I dalam *stage* K ke *state* I dalam *stage* K-1

{L} = *state* yang memungkinkan pada *stage* K-1

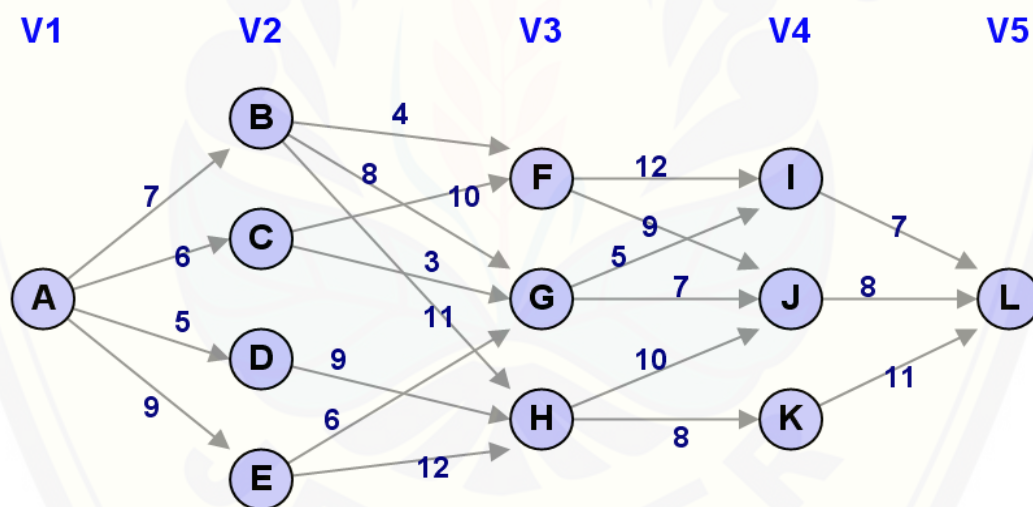
State (K,I) adalah kombinasi I dalam jam K. Untuk pendekatan *forward dynamic programming*, kita menentukan suatu strategi sebagai transisi, dari suatu *state* pada suatu jam yang diberikan sampai suatu *state* pada jam berikutnya.

Metode *Forward Dynamic Programming* (FDP) dianggap efisien jika mampu memilih poritas kombinasi pada seluuh periode dengan menggunakan lebih banyak strategi. Jika unit tidak terlampau banyak metode ini cukup efektif, tetapi sebaliknya jika jumlah unit terlalu banyak membutuhkan waktu penyelesaian yang relatif lama, karena memerlukan jumlah kombinasi pangkat N unit.

X = jumlah state untuk mencari masing-masing periode

N = jumlah strategi, atau garis edar, untuk menghemat pada masing-masing langkah.

Metode *Forward Dynamic Programming* (FDP) dianggap efisien jika mampu memilih poritas kombinasi pada seluuh periode dengan menggunakan lebih banyak strategi. Perhitungan dimulai dari *node-node* di *stage* k-2. *Cost* (i,j) artinya panjang lintasan dari *node* j di *stage* i menuju *sink* (t). *c* (j,l) artinya panjang lintasan dari *node* j ke *node* l (Sitanggang, 2015).



Gambar 2.3 Grafik Metode Forward Dynamic Programming
(Sitanggang, 2015)

2.4 Advanced Forward Dynamic Programming

Advanced forward dynamic programming adalah pengembangan dari *dynamic programming* yang berfungsi dalam teknik penyelesaian masalah efisiensi dengan fungsi yang berulang. *Advanced forward dynamic programming* bisa digunakan untuk sistem kuadrat yang berulang. Pengembangan yang

dilakukan dari program sebelumnya adalah menghemat waktu *running* dan penggunaan kapasitas ruang. Dalam penghematan ruang, hal yang dilakukan adalah membagi dengan hanya menyimpan baris sekarang dan sebelumnya dari tabel memorisasi. Dalam penghematan waktu, hal yang dilakukan adalah mengurangi penyebaran dengan menyederhanakan persamaan (Erickson, 2014).

2.5 P2B Jawa Bali

P2B JB (Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali) adalah unit induk PLN yang dibentuk melalui Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 093.K/023/DIR/1995 tanggal 2 Oktober 1995, yang merupakan gabungan P2B dengan Bidang Penyaluran dari PLN KJB dan PLN KJT. Sejalan dengan terjadinya perubahan-perubahan kebijakan dalam sistem ketenagalistrikan, antara lain pemberlakuan UU No.20 tahun 2002 dan pembatalannya kembali pada tahun 2004, maka organisasi P3 BJB pun mengalami beberapa kali perubahan (restrukturisasi) sebagai bentuk penyesuaian, penyempurnaan organisasi, dan tata kelola. Dengan terbitnya Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 257.K/010/DIR/2000 tanggal 2 November 2000, tentang Pembentukan Organisasi dan Tata Kerja Unit Bisnis Strategis Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali, maka PT PLN (Persero) P2B Jawa Bali yang merupakan unit pusat laba (*profit center*) berubah menjadi unit pusat investasi (*investment center*) dengan nama Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali (P3 BJB). P2B JB terdiri dari 12 unit induk dan 32 unit pelaksana yaitu:

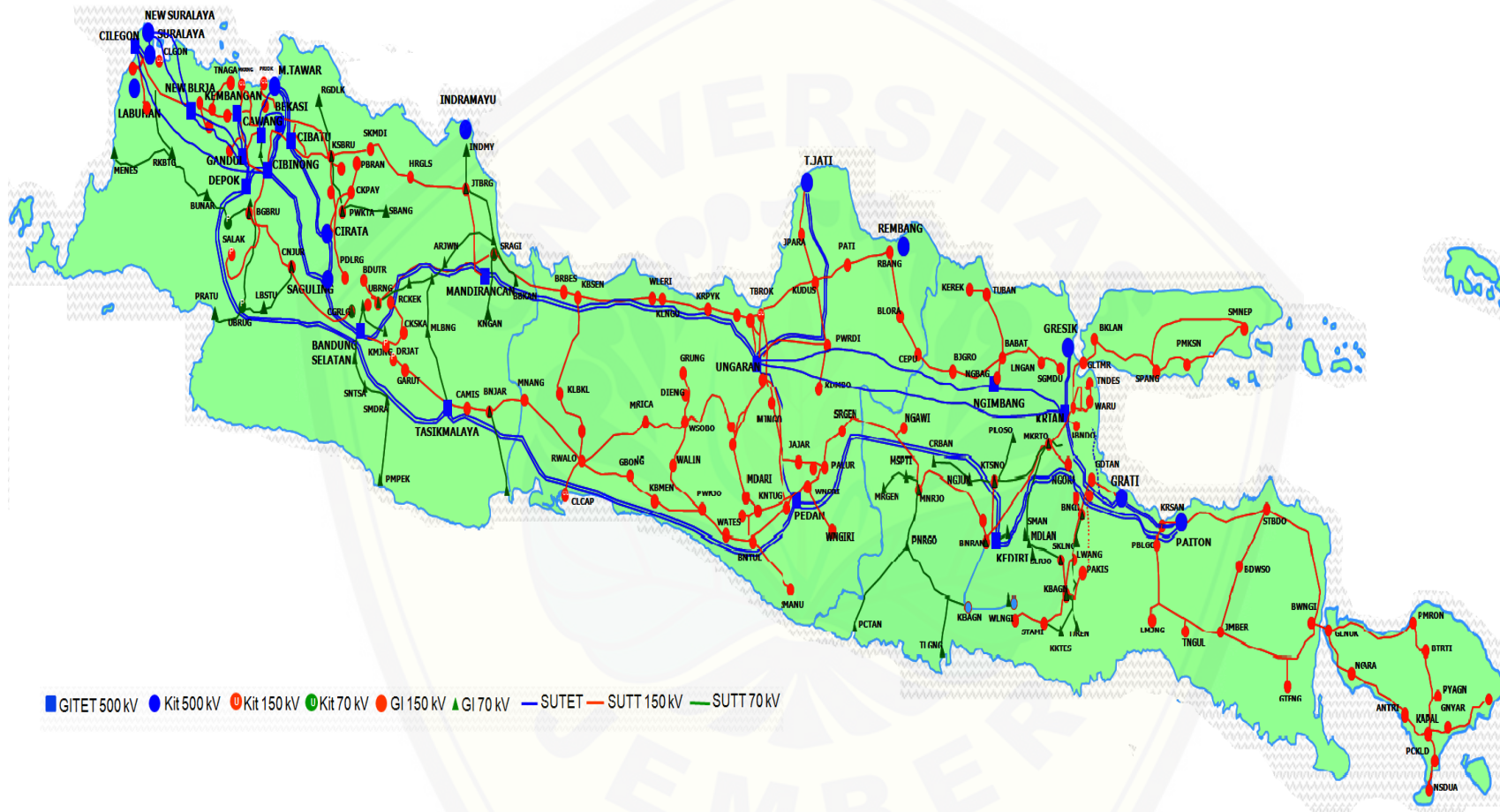
- a. Unit Induk terdiri dari Bidang Perencanaan, Bidang Pengembangan Penyaluran, Bidang Operasi Sistem, Bidang Teknik Penyaluran, Bidang Keuangan, Bidang SDM & Organisasi, Bidang Umum, Audit Internal, Region Jakarta dan Banten, Region Jawa Barat, Region Jawa Tengah & DIY dan Region Jawa Timur & Bali.
- b. Unit Pelaksana terdiri dari 31 (tiga puluh satu) Unit Pelayanan Transmisi (UPT) dan 1 (satu) Sub Region Bali.

(Kusumo, 2010)

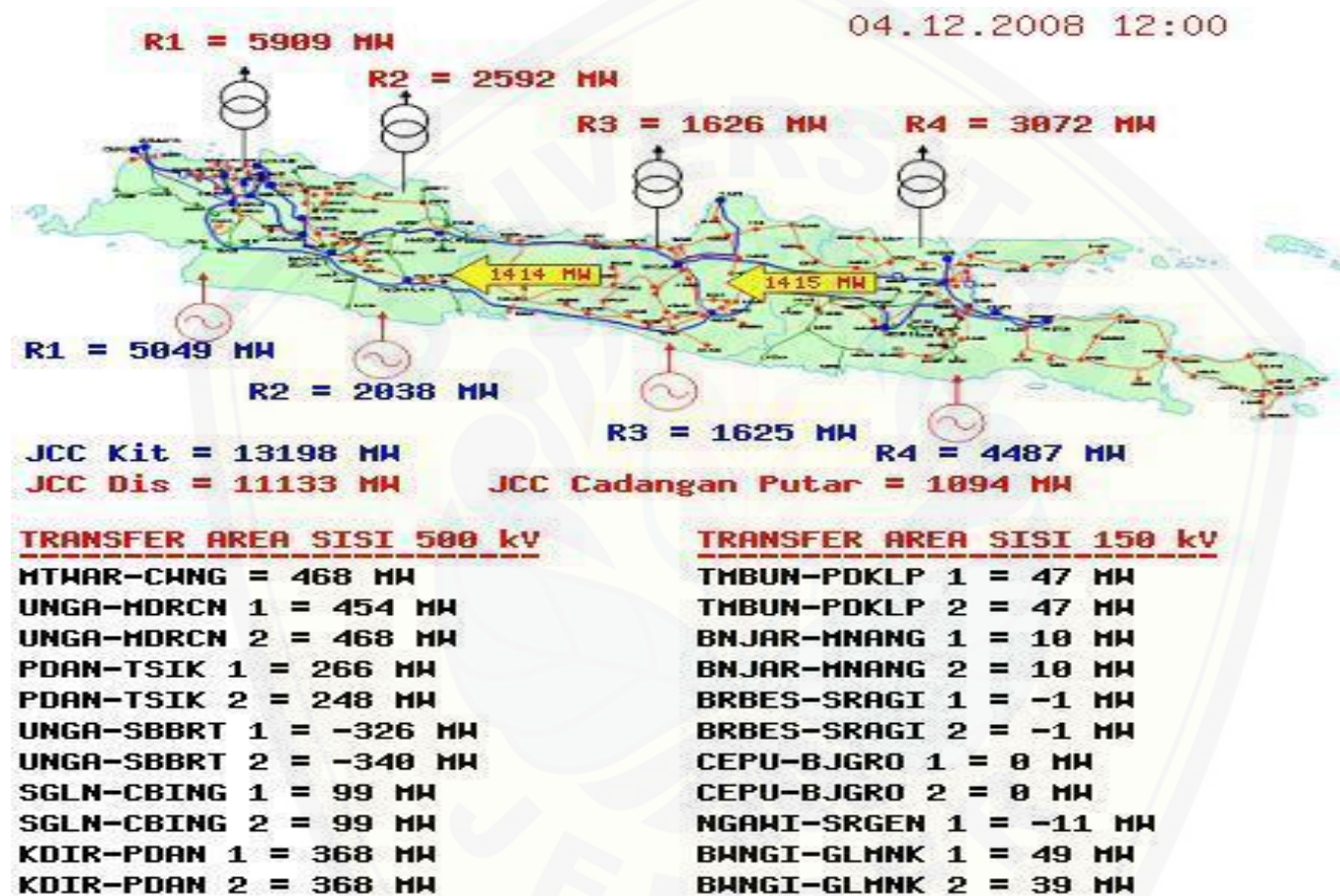
2.6 Pembangkitan Listrik Jawa-Bali

2.6.1 PT. PJB

PT Pembangkitan Jawa-Bali (disingkat PT PJB) adalah sebuah anak perusahaan PLN BUMN produsen listrik yang menyuplai kebutuhan listrik di Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Yogyakarta, Jawa Timur dan Bali. PT. PJB berdiri sejak tahun 1995. PJB menjalankan bisnis membangkitkan energi listrik dari enam Unit Pembangkitan (UP) yang dimiliki, yaitu : UP Gresik (2.219 MW), UP Paiton (800 MW), UP Muara Karang (908 MW), UP Muara Tawar (920 MW), UP Cirata (1.008 MW) dan UP Brantas (281 MW). PJB mengimplementasikan berbagai sistem manajemen *best practice*, yang antara lain: Manajemen Asset Pas 55, Manajemen SDM berbasis Kompetensi, Manajemen Risiko, Manajemen Mutu ISO 9000, Manajemen Lingkungan ISO 14000 dan K3 OHSAS 18000, Manajemen GCG, Manajemen Teknologi Informasi, *Knowledge Management*, Manajemen *Baldrige*, Manajemen *House Keeping* 5S, Manajemen Pengamanan, dan Sistem Manajemen Terpadu (PJB *Integrated Management System*) (PJB, t.thn.).



Gambar 2.4 Sistem Kelistrikan Jawa Madura Bali
(Widdiyanto, 2013)



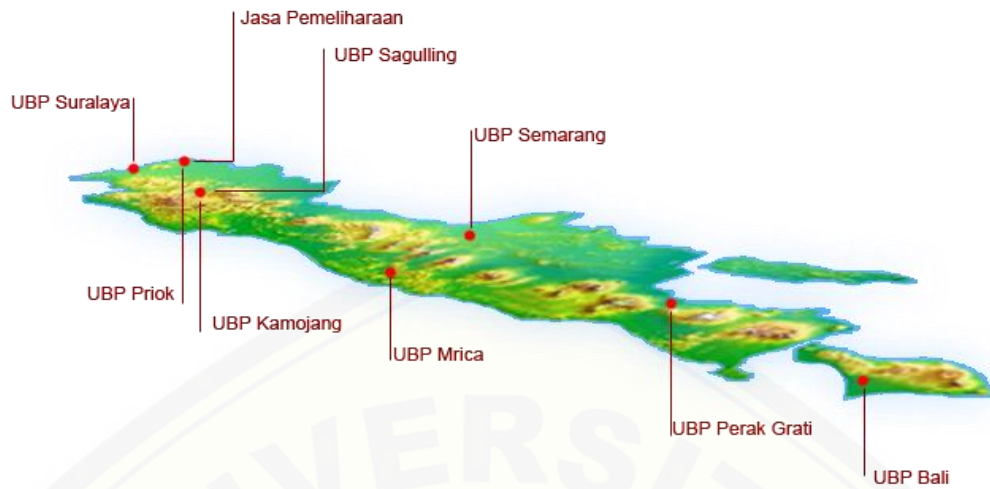
Gambar 2.5 Neraca Listrik Tiap Region Sistem Jawa Madura Bali

(Imaduddin, 2008)

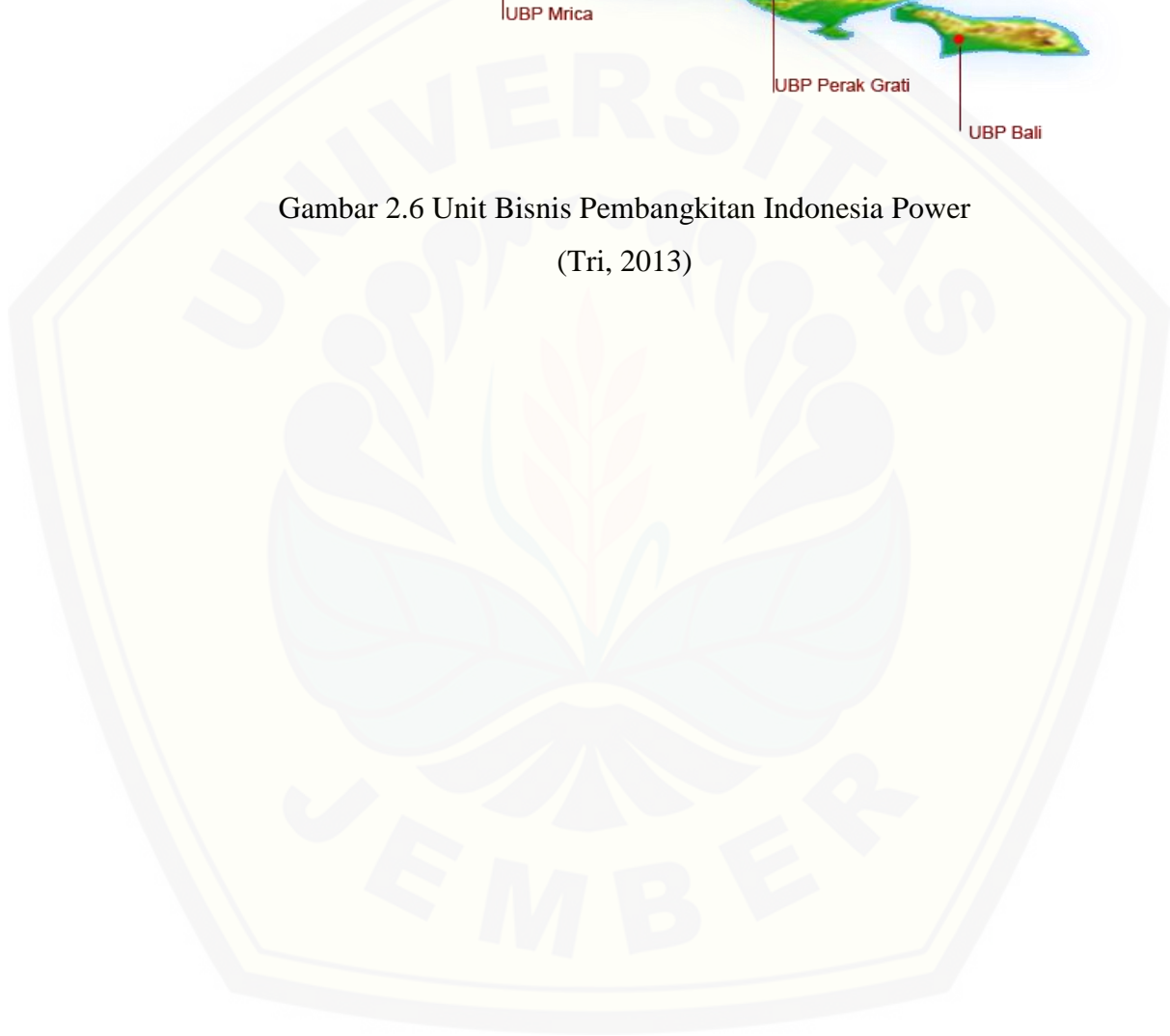
2.6.2 Indonesia Power

PT Indonesia Power (IP) adalah anak dari perusahaan PLN yang menjalankan usaha komersial pada bidang pembangkitan tenaga listrik. Cikal bakal perusahaan ini adalah PT Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa-Bali I (PLN PJB I), yang didirikan pada tanggal 3 Oktober 1995 sebagai anak perusahaan PLN yang waktu itu baru saja berubah statusnya dari Perum menjadi Persero. Pada tanggal 3 Oktober 2000, PJB I berubah nama menjadi PT Indonesia Power. Saat ini Indonesia Power merupakan perusahaan pembangkitan listrik dengan daya mampu terbesar di Indonesia. IP memiliki bisnis utama berupa pengoperasian pembangkit listrik di Jawa dan Bali yang tersebar di 8 lokasi. Unit usaha pembangkitan IP diberi nama Unit Bisnis Pembangkitan (UBP). 8 Unit Bisnis Pembangkitan yang dikelola oleh IP diantaranya yaitu Priok, Suralaya, Saguling, Kamojang, Mrica, Semarang, Perak-Grati dan Bali.

Selain UBP, IP juga mempunyai bisnis jasa pemeliharaan pembangkit listrik yang diberi nama Unit Bisnis Pemeliharaan (UBHar) yang berkantor di jalan KS Tubun, Jakarta. IP juga mempunyai anak perusahaan yang bergerak di bidang trading batu bara yaitu PT Artha Daya Coalindo. Sedangkan PT Cogindo Daya Bersama adalah anak perusahaan IP yang bergerak di bidang *co-generation* dan *energy outsourcing*. PT. Indonesia Power mempunyai 2 anak perusahaan, yaitu PT. Cogindo Daya Perkasa (saham 99,9 %) yang bergerak dalam bidang jasa pelayanan dan manajemen energi dengan penerapan konsep *co-generation* dan *distributed generation*, dan PT. Arta Daya Coalindo (saham 60%) yang bergerak dibidang usaha perdagangan batu bara. Visi dari IP sendiri yaitu menjadi perusahaan publik dengan kinerja kelas dunia dan bersahabat dengan lingkungan. Sedangkan misi yang dikembangkan adalah melakukan usaha dalam bidang ketenagalistrikan dan mengembangkan usaha-usaha lainnya yang berkaitan, berdasarkan kaidah industri dan niaga yang sehat, guna menjamin keberadaan dan pengembangan perusahaan dalam jangka panjang (Tri, 2013).



Gambar 2.6 Unit Bisnis Pembangkitan Indonesia Power
(Tri, 2013)



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis *unit commitment* menggunakan metode *Advance Forward Dynamic Programming* (AFDP) berbasis *Neural Network* (NN). Metode yang diusulkan ini memiliki keunggulan pada *execution time* yang cepat. Untuk menguji performansi dari AFDP, metode tersebut akan dibandingkan dengan *Forward Dynamic Programming* (FDP) yang berbasis *Linier*. Selain cepat dalam *execution time* keunggulan lain dari metode AFDP yang diusulkan pada penelitian ini adalah mampu menentukan pola *unit commitment* yang optimal seperti yang dihasilkan oleh metode DP.

3.1 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini direncanakan selesai dalam enam bulan, dimulai dari bulan Februari 2017 sampai dengan bulan Juli 2017.

Data yang digunakan pada penelitian ini yang pertama diambil dari data pada referensi [2] yang digunakan untuk verifikasi metode. Kemudian data kedua adalah data beban yang diambil di P2B Jakarta, yang termasuk didalamnya data sistem kelistrikan yang ada pada pembangkitan Jawa-Bali.

3.2 Alat dan bahan

Secara umum peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah *personal computer*, *software* matlab dan data-data yang berhubungan dengan *unit commitment*, secara detail alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dielaskan sebagai berikut :

3.2.1 Personal Computer(PC)

Spesifikasi PC yang digunakan sebagai sarana untuk melakukan simulasi dan analisis adalah sebagai berikut:

- Processor Intel core (TM) i5-3230M CPU @ 2.6 GHz 2.6 GHz
- RAM : 4.00 GB
- VGA : AMD Radeon HD 7670M

3.2.2 Software MATLAB

Software Matlab yang digunakan pada penelitian ini adalah Matlab versi R2013a. Simulasi analisis *unit commitment* dilakukan dengan M-File, yaitu dengan menerapkan logika *Advanced Forward Dynamic Programming* berbasis *Neural Network*. Agar AFDP dapat bekerja dengan performansi yang baik, maka terlebih dahulu dilakukan proses pelatihan dengan mengacu pada data pengoperasian pembangkit yang dihasilkan oleh *Forward Dynamic Programming* berbasis *linier programming*.

3.2.3 Data generator dan pembebanan sistem tenaga listrik

Pada penelitian ini data yang digunakan untuk menguji performansi dari AFDP adalah data beban dari buku Allen J. Wood [2] dan data pembangkit dan pembebanan P2B.

A. Data generator dan pembebanan pada buku Allen J. Wood [2]

Tabel 3.1 Data *Input* Generator Allen J. Wood

Nomor Unit	Pmin	Pmax	Inc. Heat Rate	No Load Cost	Start Cost Cold	Fuel Cost	Min Up Time	Min Down Time	Initial Status	Start Cost Cold	Cold Start Hour	Ramp-up	Ramp-down	Shut Down Cost
	[MW]	[MW]	[BTU/kWh]	[£/h]	[£]	[£/MBTU]	[h]	[h]	[h]	[£]	[h]	[MW/h]	[MW/h]	[£]
1	25	80	10440	213	350	2	4	2	-5	150	4	50	75	0
2	60	250	9000	585.62	400	2	5	3	8	170	5	80	120	0
3	75	300	8730	684.74	1100	2	5	4	8	500	5	100	150	0
4	20	60	11900	252	0.02	2	1	1	-6	0	0	80	120	0

Tabel 3.2 Data Beban Generator Allen J. Wood

Jam ke-	Beban (MW)
1	450
2	530
3	600
4	540
5	400
6	280
7	290
8	500

B. Data generator dan beban dari P2B

Tabel 3.3 Data Generator P2B

No.	Pembangkit	Perusahaan	Pmax	Pmin	Type	Bahan bakar	Increment	No load cost	Start up	Fuel cost	Min up	Min down	In. status	Start up	Cold	Ramping	Ramping	Shut	Hot	
			MW	MW			heat rate	pu	cost (cold)	pu	time	time		cost (hot)	Start	Up	Down	down	Start	
								pu	pu	pu	pu	h	h	h	pu	h	MW/hour	MW/hour	pu	h
1	Surakaya 1	IP	400	252	Steam Turbine	Coal	0.203637	0.010982	0.000283	0.000208	24	24	24	0.000283	12	100	100	0	8	
2	Surakaya 2	IP	400	252	Steam Turbine	Coal	0.202296	0.010982	0.000283	0.000208	24	24	24	0.000283	12	100	100	0	8	
3	Surakaya 3	IP	400	252	Steam Turbine	Coal	0.203637	0.010982	0.002494	0.000208	24	24	24	0.000283	12	100	100	0	8	
4	Surakaya 4	IP	400	252	Steam Turbine	Coal	0.202380	0.010982	0.002494	0.000208	24	24	24	0.000283	12	100	100	0	8	
5	Surakaya 5	IP	575.2	80	Steam Turbine	Coal	0.199447	0.016473	0.024231	0.000321	48	48	24	0.000438	12	150	150	0	8	
6	Surakaya 6	IP	575.2	80	Steam Turbine	Coal	0.200034	0.016473	0.024231	0.000321	48	48	24	0.000438	12	150	150	0	8	
7	PLTGU Priok # B1	IP	508	150	Combine Cycle	gas	0.884606	0.008095	0.008095	0.023747	24	24	24	0.020239	3	130	130	0	5	
8	PLTGU Priok # B2	IP	508	150	Combine Cycle	gas	0.907902	0.008095	0.008095	0.023747	24	24	24	0.020239	3	130	130	0	5	
9	PLTP Gunung Salak 1	IP	60	33	Condensing Turbine	Geothermal	0.689265	0.000000	0.000000	0.001146	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
10	PLTP Gunung Salak 2	IP	60	33	Condensing Turbine	Geothermal	0.689265	0.000000	0.000000	0.001146	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
11	PLTP Gunung Salak 3	IP	60	33	Condensing Turbine	Geothermal	0.689265	0.000000	0.000000	0.001146	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
12	PLTP Kamojang 2	IP	35	14	Condensing Turbine	Geothermal	0.123607	0.000000	0.000000	0.000669	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
13	PLTP Kamojang 3	IP	35	14	Condensing Turbine	Geothermal	0.123607	0.000000	0.000000	0.000669	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
14	PLTP Darajat	IP	55	37	Condensing Turbine	Geothermal	0.703930	0.000000	0.000000	0.001051	2	2	24	0.000000	0.4	0	0	0	0.2	
15	PLTGU TB Lorok # B1	IP	550	206	Combine Cycle	Gas	1.000000	0.149618	0.149618	0.438880	24	12	24	0.374045	3	130	130	0	5	
16	PLTGU TB Lorok # B2	IP	550	206	Combine Cycle	Gas	0.974524	0.156709	0.156709	0.459680	24	12	24	0.391773	3	130	130	0	5	
17	PLTGU M. Karang# B1	PJB	508	150	Combine Cycle	Gas	0.977374	0.139691	0.139691	0.409760	4	4	24	0.349227	3	130	130	0	5	
18	PLTU M. Karang# 5	PJB	200	140	Steam Turbine	MFO	0.199028	1.000000	1.000000	0.733333	10	10	24	1.000000	12	120	120	0	8	
19	PLTU Paiton # 2	PJB	400	150	Steam Turbine	coal	0.204140	0.000399	0.000399	0.000207	48	24	24	0.000194	17	100	100	0	5.5	
20	PLTU Gresik # 1	PJB	100	40	Steam Turbine	MFO	0.388838	0.872727	0.872727	0.640000	48	48	24	0.872727	12	45	45	0	8	
21	PLTU Gresik # 2	PJB	100	40	Steam Turbine	MFO	0.388838	0.872727	0.872727	0.640000	48	48	24	0.872727	12	45	45	0	8	
22	PLTGU Gresik # B1	PJB	526	239	Combine Cycle	HSD	0.977290	0.340909	0.340909	1.000000	48	0.5	24	0.852273	3	120	120	0	5	
23	PLTGU Gresik # B2	PJB	526	239	Combine Cycle	HSD	0.977290	0.340909	0.340909	1.000000	48	0.5	24	0.852273	3	120	120	0	5	
24	PLTGU Gresik # B3	PJB	526	239	Combine Cycle	HSD	0.977290	0.340909	0.340909	1.000000	48	0.5	24	0.852273	3	120	120	0	5	

Pada bulan Desember tersebut terdapat beberapa pembangkit yang sedang mengalami *maintenance* sehingga tidak dapat beroperasi, yaitu:

1. PLTP Kamojang 1.
2. PLTU Tambak Lorok 1, 2, dan 3.
3. PLTU M. Karang 1, 2, dan 4.
4. PLTU Gresik 4.

Pembangkit yang mengalami *maintenance* tidak akan diikuti dalam simulasi. Untuk keterangan nama unit pembangkit yang digunakan di program dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Nama Pembangkit Thermal Menjadi Nomor Unit

Nama Pembangkit	Nomor Unit
PLTU Suralaya 1	1
PLTU Suralaya 2	2
PLTU Suralaya 3	3
PLTU Suralaya 4	4
PLTU Suralaya 5	5
PLTU Suralaya 6	6
PLTGU Priok B1	7
PLTGU Priok B2	8
PLTP Gunung salak 1	9
PLTP Gunung salak 2	10
PLTP Gunung salak 3	11
PLTP Kamojang 2	12
PLTP Kamojang 3	13
PLTP Drajat	14
PLTGU TB Lorok B1	15
PLTGU TB Lorok B2	16
PLTGU M. Karang B1	17
PLTU M. Karang 5	18
PLTU Paiton 2	19
PLTU Gresik 1	20
PLTU Gresik 2	21
PLTU Gresik B1	22
PLTU Gresik B2	23
PLTU Gresik B3	24

Data pembangkit thermal dari sembilan unit pembangkitan yang digunakan untuk simulasi yaitu PLTU, PLTP, dan PLTGU diambil dari P2B Gandul. Berdasarkan data tersebut, akan dilakukan simulasi dengan metode *unit*

commitment menggunakan *advanced forward dynamic programming*. Penjadwalan yang digunakan selama 24 jam dengan mengambil periode waktu per setengah jam. Beban yang digunakan sebagai *sampling* penjadwalan unit pembangkit thermal adalah beban di bulan Desember 2016. Beban harian yang berada di konsumen bersifat fluktuatif tiap jamnya. Karena itu, pada sub bab ini akan dilakukan penjadwalan dengan variasi hari yang berbeda. Hari yang dipilih yaitu hari kerja dan hari libur dalam satu minggu. Untuk hari kerja, *sampling* yang digunakan adalah hari Senin dan Jumat. Hari libur yang digunakan sebagai *sampling* adalah hari Minggu dan libur nasional. Hari Senin bertepatan dengan tanggal 5 Desember 2016, hari Jumat bertepatan dengan tanggal 9 Desember 2016, hari Minggu bertepatan dengan tanggal 11 Desember 2016 dan hari libur nasional bertepatan pada tanggal 25 Desember 2016.

B1. Data Beban 5 Desember 2016

Tabel 3.5 Data Beban 5 Desember 2016

PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (KW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)
00.00 - 00.30	3894	04.00 - 04.30	4089	08.00 - 08.30	5140	12.00 - 12.30	5090	16.00 - 16.30	4995	20.00 - 20.30	5524
00.30 - 01.00	3961	04.30 - 05.00	4201	08.30 - 09.00	5249	12.30 - 13.00	5115	16.30 - 17.00	5370	20.30 - 21.00	5377
01.00 - 01.30	3895	05.00 - 05.30	4228	09.00 - 09.30	5162	13.00 - 13.30	5301	17.00 - 17.30	5507	21.00 - 21.30	5313
01.30 - 02.00	3788	05.30 - 06.00	4185	09.30 - 10.00	5266	13.30 - 14.00	5075	17.30 - 18.00	5554	21.30 - 22.00	5221
02.00 - 02.30	3864	06.00 - 06.30	4044	10.00 - 10.30	5330	14.00 - 14.30	5163	18.00 - 18.30	5619	22.00 - 22.30	5069
02.30 - 03.00	3808	06.30 - 07.00	4085	10.30 - 11.00	5347	14.30 - 15.00	5215	18.30 - 19.00	5636	22.30 - 23.00	4790
03.00 - 03.30	3780	07.00 - 07.30	4669	11.00 - 11.30	5369	15.00 - 15.30	5209	19.00 - 19.30	5645	23.00 - 23.30	4702
03.30 - 04.00	3922	07.30 - 08.00	5060	11.30 - 12.00	5215	15.30 - 16.00	5205	19.30 - 20.00	5549	23.30 - 24.00	4597

Beban yang bertepatan dengan tanggal 5 Desember adalah beban hari kerja yaitu hari Senin. Dari tabel 3.5 dapat dilihat bahwa beban puncak bernilai 5645 MW ada pada jam 19.30 WIB dan beban terendah ada pada jam 03.30 WIB dengan nilai sebesar 3780 MW.

B2. Data Beban 9 Desember 2016

Tabel 3.6 Data Beban 9 Desember 2016

PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (KW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)
00.00 - 00.30	4283	04.00 - 04.30	4260	08.00 - 08.30	5197	12.00 - 12.30	5491	16.00 - 16.30	5868	20.00 - 20.30	5888
00.30 - 01.00	4211	04.30 - 05.00	4319	08.30 - 09.00	5246	12.30 - 13.00	5635	16.30 - 17.00	5778	20.30 - 21.00	5753
01.00 - 01.30	4112	05.00 - 05.30	4448	09.00 - 09.30	5294	13.00 - 13.30	6168	17.00 - 17.30	6013	21.00 - 21.30	5465
01.30 - 02.00	4042	05.30 - 06.00	4309	09.30 - 10.00	5337	13.30 - 14.00	6087	17.30 - 18.00	6049	21.30 - 22.00	5381
02.00 - 02.30	4005	06.00 - 06.30	4196	10.00 - 10.30	5569	14.00 - 14.30	6090	18.00 - 18.30	6065	22.00 - 22.30	5401
02.30 - 03.00	4001	06.30 - 07.00	4402	10.30 - 11.00	5814	14.30 - 15.00	6082	18.30 - 19.00	6049	22.30 - 23.00	5220
03.00 - 03.30	4056	07.00 - 07.30	4782	11.00 - 11.30	5730	15.00 - 15.30	5910	19.00 - 19.30	6005	23.00 - 23.30	5129
03.30 - 04.00	4081	07.30 - 08.00	5096	11.30 - 12.00	5472	15.30 - 16.00	5897	19.30 - 20.00	5899	23.30 - 24.00	5084

Beban di tanggal 9 Desember 2016 adalah beban hari kerja yang bertepatan di hari Jumat. Pada hari Jumat ini, banyak instansi yang melakukan pekerjaan hingga setengah hari saja. Dari tabel 3.6 dapat dilihat bahwa beban puncak bernilai 6168 MW ada pada jam 13.30 WIB dan beban terendah ada pada jam 03.30 WIB dengan nilai sebesar 4001 MW.

B3. Data beban 11 desember 2016

Tabel 3.7 Data Beban 11 Desember 2016

PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (KW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)
00.00 - 00.30	4388	04.00 - 04.30	4548	08.00 - 08.30	4437	12.00 - 12.30	5491	16.00 - 16.30	5868	20.00 - 20.30	5888
00.30 - 01.00	4439	04.30 - 05.00	4592	08.30 - 09.00	4499	12.30 - 13.00	5635	16.30 - 17.00	5778	20.30 - 21.00	5753
01.00 - 01.30	4348	05.00 - 05.30	4540	09.00 - 09.30	4689	13.00 - 13.30	6168	17.00 - 17.30	6013	21.00 - 21.30	5465
01.30 - 02.00	4220	05.30 - 06.00	4479	09.30 - 10.00	4640	13.30 - 14.00	6087	17.30 - 18.00	6049	21.30 - 22.00	5381
02.00 - 02.30	4215	06.00 - 06.30	4330	10.00 - 10.30	4647	14.00 - 14.30	6090	18.00 - 18.30	6065	22.00 - 22.30	5401
02.30 - 03.00	4222	06.30 - 07.00	4361	10.30 - 11.00	4662	14.30 - 15.00	6082	18.30 - 19.00	6049	22.30 - 23.00	5220
03.00 - 03.30	4213	07.00 - 07.30	4364	11.00 - 11.30	4667	15.00 - 15.30	5910	19.00 - 19.30	6005	23.00 - 23.30	5129
03.30 - 04.00	4317	07.30 - 08.00	4350	11.30 - 12.00	4645	15.30 - 16.00	5897	19.30 - 20.00	5899	23.30 - 24.00	5084

Beban pada tanggal 11 Desember 2016 adalah beban hari libur yang bertepatan di hari Minggu. Pada hari Minggu ini, banyak instansi maupun industri yang libur dalam melakukan pekerjaan. Dari tabel 3.7 dapat dilihat bahwa beban puncak bernilai 5167 MW ada pada jam 16.00 WIB dan beban terendah ada pada jam 00.00 WIB dengan nilai sebesar 4001 MW.

B4. Data beban 25 Desember 2016

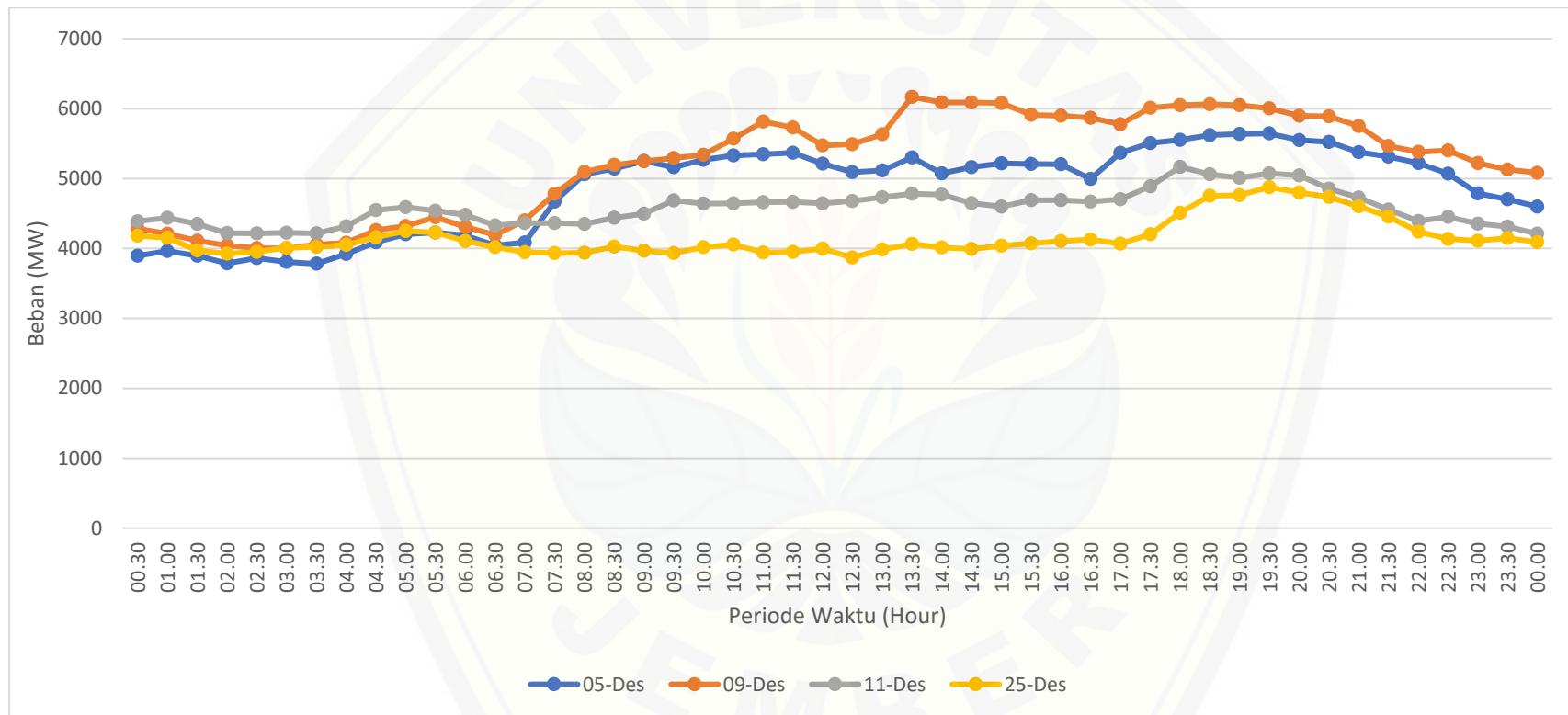
Tabel 3.8 Data Beban 25 Desember 2016

PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (KW)	PERIODE	BEBAN (MW)	PERIODE	BEBAN (MW)
00.00 - 00.30	4181	04.00 - 04.30	4161	08.00 - 08.30	4025	12.00 - 12.30	3870	16.00 - 16.30	4128	20.00 - 20.30	4736
00.30 - 01.00	4153	04.30 - 05.00	4248	08.30 - 09.00	3967	12.30 - 13.00	3985	16.30 - 17.00	4068	20.30 - 21.00	4603
01.00 - 01.30	3970	05.00 - 05.30	4228	09.00 - 09.30	3933	13.00 - 13.30	4066	17.00 - 17.30	4201	21.00 - 21.30	4454
01.30 - 02.00	3924	05.30 - 06.00	4106	09.30 - 10.00	4018	13.30 - 14.00	4012	17.30 - 18.00	4511	21.30 - 22.00	4240
02.00 - 02.30	3949	06.00 - 06.30	4019	10.00 - 10.30	4055	14.00 - 14.30	3992	18.00 - 18.30	4755	22.00 - 22.30	4136
02.30 - 03.00	4010	06.30 - 07.00	3945	10.30 - 11.00	3944	14.30 - 15.00	4038	18.30 - 19.00	4762	22.30 - 23.00	4110
03.00 - 03.30	4023	07.00 - 07.30	3932	11.00 - 11.30	3950	15.00 - 15.30	4073	19.00 - 19.30	4877	23.00 - 23.30	4147
03.30 - 04.00	4053	07.30 - 08.00	3936	11.30 - 12.00	3995	15.30 - 16.00	4107	19.30 - 20.00	4800	23.30 - 24.00	4090

Beban tanggal 25 Desember 2016 adalah beban hari libur yang bertepatan dengan hari Minggu. Pada hari ini merupakan libur Nasional memperingati hari Natal. Dari tabel 3.8 dapat dilihat bahwa beban puncak bernilai 4877 MW ada pada jam 19.30 WIB dan beban terendah ada pada jam 12.30 WIB dengan nilai sebesar 3870 MW.

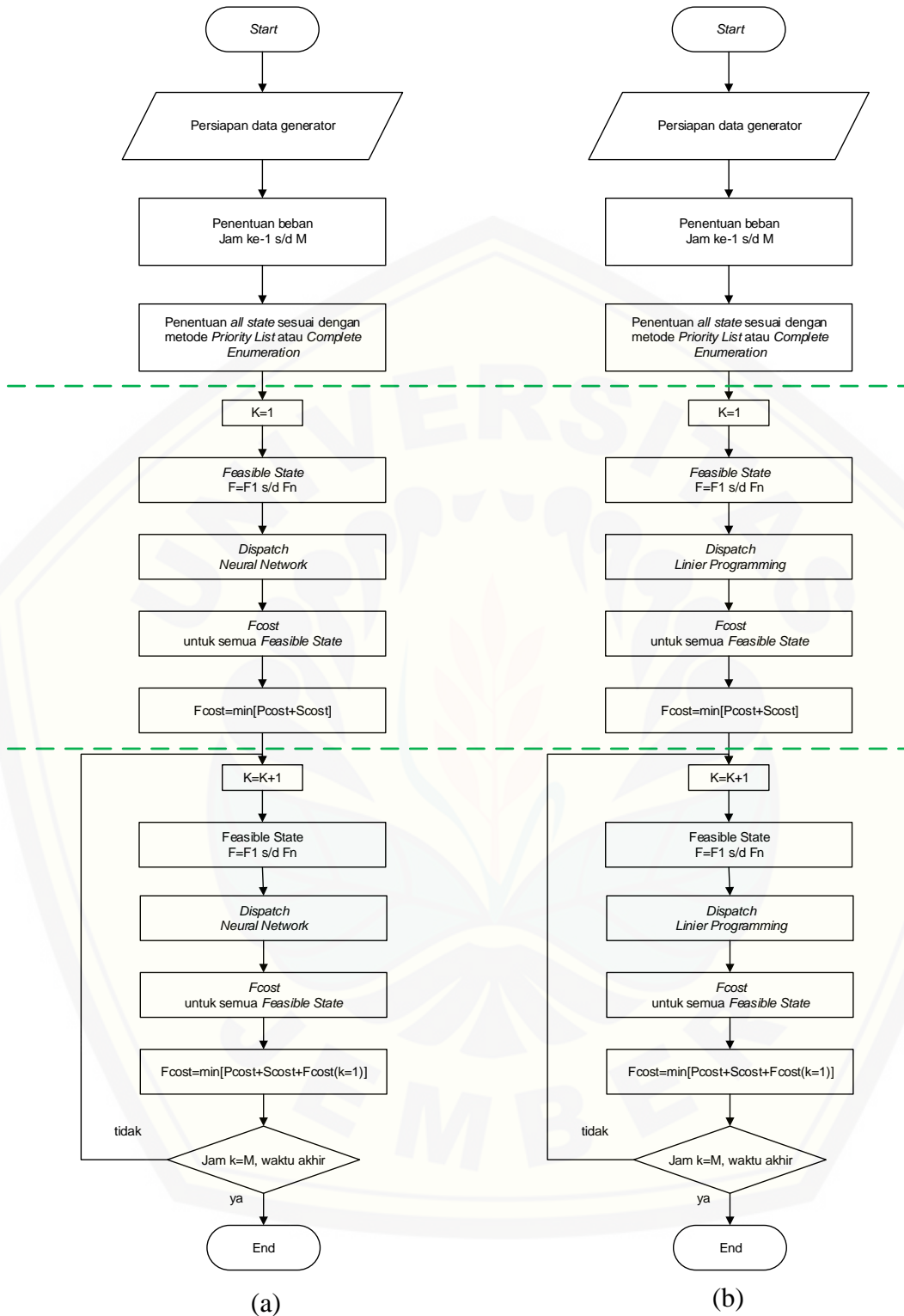
B5. Grafik Data Beban Simulasi Desember 2016

Beban total yang dimiliki oleh keempat tanggal tersebut masing-masing sebesar 7994 MW yang digambarkan oleh gambar grafik 3.1.



Gambar 3.1 Grafik Beban Simulasi Desember 2016

3.3 Metodologi Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart *Advanced Forward Dynamic Programming* (a) dan *Forward Dynamic Programming* (b)

Berdasarkan gambar *flowchart* 3.2 dapat diketahui bahwa urutan untuk melakukan simulasi penjadwalan dengan menggunakan metode *forward dynamic programming* dan *advanced forward dynamic programming* adalah sebagai berikut:

3.4 Penentuan *All state*

Proses pertama program setelah membaca data generator dan beban adalah menentukan *all state*. *All state* merupakan semua kombinasi pengoperasian pembangkit yang mungkin dan sesuai dengan masing masing kapasitas pembangkit. Ada dua metode penentuan *all state* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metode *priority list* dan *complete enumeration*.

3.4.1 *Priority List*

All state dengan metode *priority list* untuk 4 (empat) pembangkit sesuai dengan referensi [2] disajikan pada tabel 3.9, sedangkan *All state* untuk data P2B diberikan pada tabel 3.10. Banyaknya *all state* dengan menggunakan *priority list* yaitu sebanyak generator yang digunakan.

Tabel 3.9 *All State Priority List* Data Generator Allen J. Wood

<i>State</i>	<i>Combination State</i>				<i>Pmax Gen(MW)</i>
1	0	0	1	0	300
2	0	1	1	0	550
3	1	1	1	0	630
4	1	1	1	1	690

3.4.2 Complete Enumeration

All state dengan metode *Complete Enumeration* memiliki jumlah yang sama dengan 2^N . Data *all state* untuk 4 (empat) pembangkit sesuai dengan referensi [2] disajikan pada tabel 3.11. Sedangkan *All state* dengan metode *Complete Enumeration* untuk data P2B tidak memungkinkan dilakukan proses *running* program. Karena jumlah generator yang digunakan pada data P2B sebanyak 24, sehingga kombinasi yang dihasilkan adalah 2^{24} atau setara dengan 16.777.216,- yang angka tersebut melebihi dari jumlah *cell* yang bisa diproses oleh Matlab R2013a.

Tabel 3.11 *All State Complete Enumeration* Data Generator Allen J. Wood

<i>State</i>	<i>Combination State</i>				<i>Pmax Gen(MW)</i>
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	60
3	1	0	0	0	80
4	1	0	0	1	140
5	0	1	0	0	250
6	0	0	1	0	300
7	0	1	0	1	310
8	1	1	0	0	330
9	0	0	1	1	360
10	1	0	1	0	380
11	1	1	0	1	390
12	1	0	1	1	440
13	0	1	1	0	550
14	0	1	1	1	610
15	1	1	1	0	630
16	1	1	1	1	690

3.5 Feasible state

Proses kedua program setelah penentuan *all state* adalah menentukan *feasible state*. *Feasible state* (FS) merupakan kombinasi pembangkit yang memungkinkan untuk mensuplai beban pada waktu tertentu. Sehingga FS ini sangat tergantung dari jumlah beban yang harus disuplai oleh pembangkit. Sesuai dengan pembahasan pada *all state* pada sub bab 3.5, maka FS juga akan disajikan dengan dua metode yaitu *priority list* dan *complete enumeration*.

3.5.1 Feasible State dengan Metode Priority List

a. Data pembangkit Referensi [2]

Data pembebanan pada referensi [2] terdapat 8 jam sesuai dengan tabel 3.2 yang akan dianalisis. Untuk data *Feasible State* pada jam ke-1 sampai dengan jam ke-3 diberikan pada tabel 3.12 sampai dengan 3.14. Untuk jam ke-4 hingga 8 terdapat pada lampiran 1.

Tabel 3.12 *Feasible State* Metode *Priority List* Data Allen J.Wood jam ke-1

<i>State</i>	<i>Feasible State</i>				<i>Generation (MW)</i>				<i>Pmax Gen (MW)</i>	<i>Demand (MW)</i>
2	0	1	1	0	0	150	300	0	550	450
3	1	1	1	0	25	125	300	0	630	450
4	1	1	1	1	25	105	300	20	690	450

Tabel 3.13 *Feasible State* Metode *Priority List* Data Allen J.Wood jam ke-2

<i>State</i>	<i>Feasible State</i>				<i>Generation (MW)</i>				<i>Pmax Gen (MW)</i>	<i>Demand (MW)</i>
2	0	1	1	0	0	230	300	0	550	530
3	1	1	1	0	25	205	300	0	630	530
4	1	1	1	1	25	185	300	20	690	530

Tabel 3.14 *Feasible State* Metode *Priority List* Data Allen J.Wood jam ke-3

<i>No. State</i>	<i>Feasible State</i>				<i>Generation (MW)</i>				<i>Pmax Gen (MW)</i>	<i>Demand(MW)</i>
3	1	1	1	0	50	250	300	0	630	600
4	1	1	1	1	30	250	300	20	690	600

b. Data Pembangkit P2B.

Data P2B yang digunakan pada penelitian ini adalah data pembebanan pada tabel 3.5 hingga 3.8. Data pada setiap tanggal tersebut dianalisis setiap 30 menit sehingga terdapat 48 pola pembebanan. Setiap tanggal hanya disajikan pada jam ke-1 hingga jam ke-3. Untuk jam ke-2 dan ke-3 dapat dilihat di lampiran 2 hingga 5.

Tabel 3.15 Feasible State Generator data P2B 5 Desember Jam ke-1

(a)

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	438.6	0	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	288.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	59.53336	59.53336	59.53336	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	46.21272	46.21272	46.21272	34.99999
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	33.00003	33.00003	33.00003	34.99997
		400	400	400	400	575.0884	484.9116	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	572.5921	281.4079	150	150	33	33	33	14
	400	400	400	400	565.3841	82.61589	150	150	33	33	33	14	

	399.9998	399.9998	399.9998	399.9998	306.9346	102.066	150	150	33	33	33	14
	399.9999	399.9967	399.9999	399.9969	89.92165	80	150	150	33	33	33	14.04768
	292.962	398.5494	292.962	398.3628	80.00001	80	150	150	33	33	33	14.00004

(b)

<i>State</i>	<i>Feasible State</i>												
	No. Gen	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
14		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16		1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17		1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
18		1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
19		1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
20		1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Generation (MW)</i>		35	55	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0
		35	55	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0
		35	54.99992	0	0	0	140	400	0	0	0	0	0
		34.99999	54.96185	0	0	0	140	400	40	0	0	0	0
		34.99997	54.60025	0	0	0	140	400	40	40	0	0	0
		14	37	0	0	150	140	400	40	40	0	0	0
		14	37	206	0	150	140	400	40	40	0	0	0
		14	37	206	206	150	140	400	40	40	0	0	0
		14	37	206	206	150	140	400	40	40	239	0	0
		14.04768	37	206	206	150	140	399.9895	40	40	239	239	0
	14.00004	37	206	206	150	140	388.1636	40	40	239	239	239	

(c)

State	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Pmax Gen (MW)</i>	3963.4	4471.4	4671.4	4771.4	4871.4	5379.4	5929.4	6479.4	7005.4	7531.4	8057.4
<i>Demand (MW)</i>	3894	3894	3894	3894	3894	3894	3894	3894	3894	3894	3894

Tabel 3.16 Feasible State Generator data P2B 9 Desember Jam ke-1

(a)

State	No. Gen	Feasible State											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	508	319.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	179.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	497.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	457.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	307.5998	150.0003	59.99999	59.99999	59.99999	34.99999
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	43.86667	43.86667	43.86667	35
		399.9993	399.9993	399.9993	399.9993	575.1568	461.8461	150	150	33	33	33	14.00001
		400	400	400	400	572.7991	225.2005	150	150	33	33	33	14.00018
		400	400	400	400	478.9478	80.0522	150	150	33	33	33	14

Tabel 3.17 Feasible State Generator data P2B 11 Desember Jam ke-1

(a)

State	No. Gen	Feasible State											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	508	424.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	284.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	244.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	204.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	412.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	206.6	150	60	60	60	35
		399.9571	399.9584	399.9571	399.9584	571.2351	570.9865	150	150	33	33	33	14.00019
		400	400	400	400	575.2	327.8	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	573.6037	90.39626	150	150	33	33	33	14
	400	400	400	400	341.6241	83.37591	150	150	33	33	33	14	

Tabel 3.18 Feasible State Generator data P2B 25 Desember Jam ke-1

(a)

State	No. Gen	Feasible State											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	508	217.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	435.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	395.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	355.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	205.6	150	60	60	60	35
		399.9351	399.9369	399.9351	399.9368	570.7848	570.5536	150	150	33.00005	33.00005	33.00005	14.00033
		400	400	400	400	574.865	360.135	150	150	33	33	33	14.00003
		400	400	400	400	575.1959	120.8041	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	374.6423	82.35773	150	150	33	33	33	14
	400	400	400	400	137.3919	80.60788	150	150	33	33	33	14.00009	

Dari tabel 3.15 hingga 3.25 diketahui bahwa terdapat 24 Generator yang dipakai untuk proses simulasi. Agar memudahkan proses analisis tabel dibagi menjadi tiga bagian (a), (b) dan (c) untuk masing-masing *feasible state*. Dari tabel 3.15 sd 3.25 menunjukkan hasil yang konsisten untuk setiap kombinasi yang dihasilkan pada setiap pola pembebanan.

3.5.2 Complete Enumeration

Complete Enumeration (CE) merupakan metode dalam menentukan FS yang lebih teliti dibandingkan dengan metode *priority list (PL)*. Akan tetapi CE hanya memungkinkan dilakukan untuk jumlah pembangkit yang sedikit, karena kombinasi yang dihasilkan oleh CE adalah 2^n , dengan n adalah jumlah generator, sehingga pada penerapan secara nyata *priority list* masih lebih populer dibandingkan dengan CE.

a. Data Pembangkit Referensi [2]

Untuk data *Feasible State* pada jam ke-1 sampai dengan jam ke-3 diberikan pada tabel 3.12 sampai dengan 3.14. Untuk jam ke-4 hingga 8 terdapat pada lampiran 6.

Tabel 3.26 *Feasible State Complete Enumeration* Generator Data Allen Jam ke-1

State	Feasible State					Generation(MW)			P_{max} Gen(MW)	Demand(MW)
13	0	1	1	0	0	150	300	0	550	450
14	0	1	1	1	0	130	300	20	610	450
15	1	1	1	0	25	125	300	0	630	450
16	1	1	1	1	25	105	300	20	690	450

Tabel 3.27 *Feasible State Complete Enumeration* Generator Data Allen Jam ke-2

State	Feasible State					Generation (MW)			P_{max} Gen (MW)	Demand (MW)
13	0	1	1	0	0	230	300	0	550	530
14	0	1	1	1	0	210	300	20	610	530
15	1	1	1	0	25	205	300	0	630	530
16	1	1	1	1	25	185	300	20	690	530

Tabel 3.28 *Feasible State Complete Enumeration* Generator Data Allen Jam ke-3

State	Feasible State				Generation(MW)				P_{max} Gen(MW)	Demand(MW)
14	0	1	1	1	0	250	300	50	610	600
15	1	1	1	0	50	250	300	0	630	600
16	1	1	1	1	30	250	300	20	690	600

b. Data pembangkit dari P2B

Data P2B yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai jumlah generator sebanyak 24. Untuk membuat all state maka diperlukan 2^{NG} kombinasi, dengan NG adalah jumlah Generator. Di sisi yang lain *cell excel* 2016 adalah 1.048.576,-. Sehingga batas maksimum jumlah generator yang bisa diproses dengan menggunakan metode *complete enumeration* adalah 20 generator, dengan demikian data P2B tidak dapat diaplikasikan dengan menggunakan metode *complete enumeration*. Karena jumlah generator adalah 24.

3.6 Economic Dispatch

Tahapan setelah proses penentuan *feasibility state* adalah proses penentuan *generation* atau penentuan besaran daya yang harus di suplai oleh tiap tiap generator berdasarkan *feasibility state* pada jam tertentu. Secara umum persamaan *economic dispatch* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N$$

$$= \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (3.1)$$

$$\phi = 0 = P_{load} - \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.2)$$

$$\mathcal{L} = F_T + \lambda \phi \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{dF_i(P_i)}{dP_i} - \lambda = 0 \quad (3.4)$$

$$0 = \frac{dF_i}{dP_i} - \lambda \quad (3.5)$$

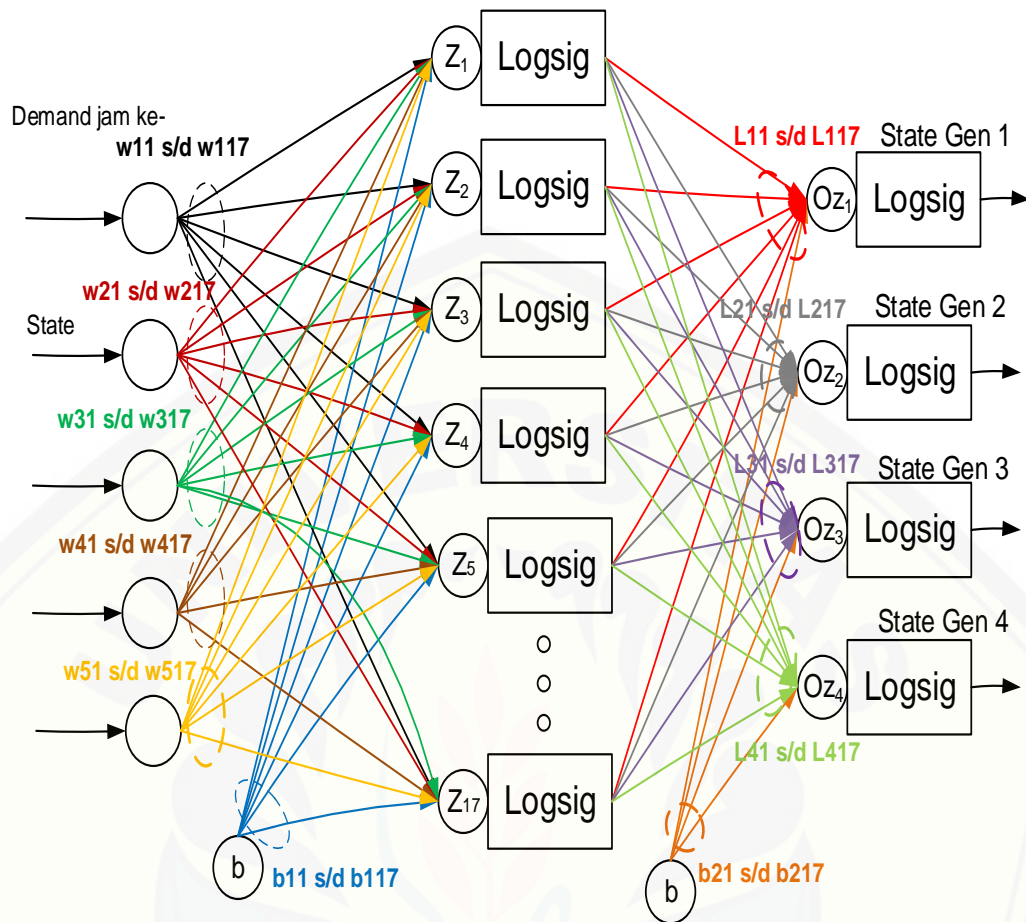
$$\left. \begin{array}{ll} \frac{dF_i}{dP_i} = \lambda & N \text{ equations} \\ P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} & 2N \text{ inequalities} \\ \sum_{i=1}^N F_i = P_{\text{load}} & 1 \text{ constraint} \end{array} \right\} (3.6)$$

3.6.1 Dispatch menggunakan Neural Network (NN)

Dispatch yang digunakan dalam metode *forward dynamic programming* adalah *linier programming*. Pada penelitian ini *Neural Network (NN)* digunakan untuk melakukan proses *dispatch* untuk metode *advanced forward dynamic programming*. Langkah langkah yang diperlukan agar NN dapat berfungsi sebagai metode *dispatch* yang akan berfungsi menggantikan *dispatch* berbasis *linear programming*, tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

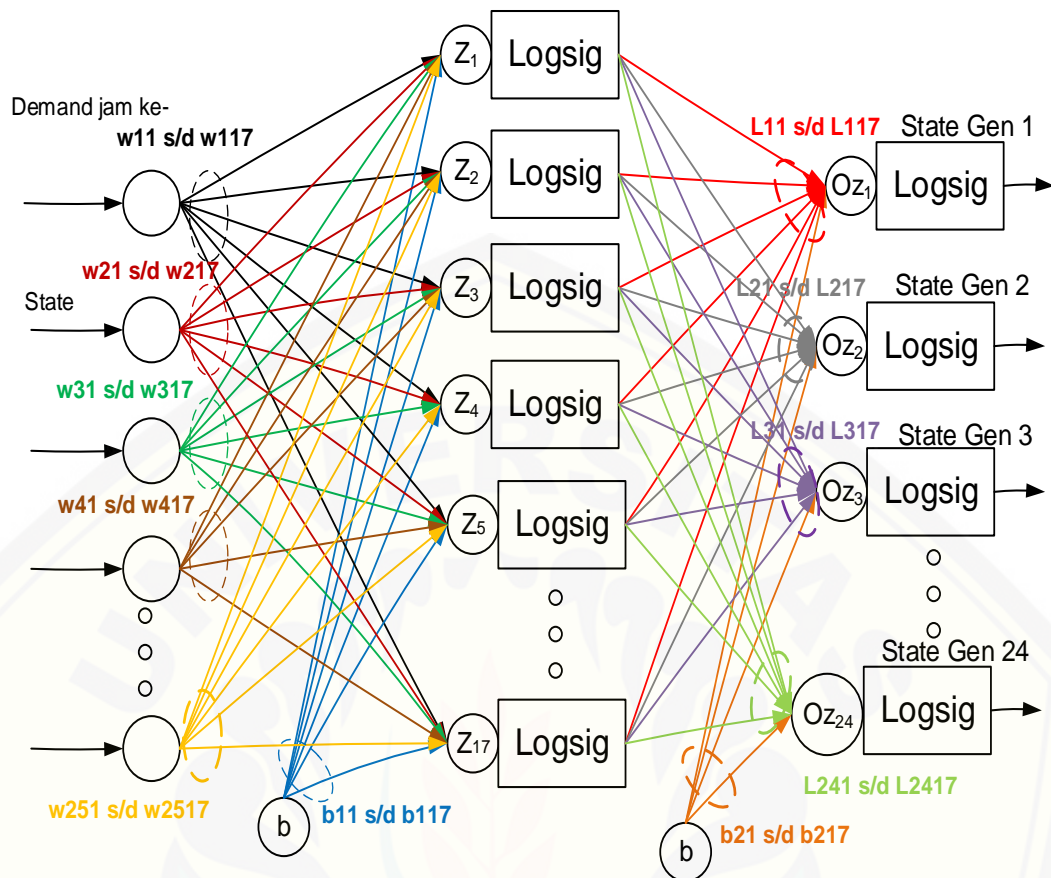
- Desain struktur *Neural network*, yang meliputi jumlah *input*, jumlah *output*, jumlah *hidden layer* dan jumlah *Neuron* pada *hidden layer*. Struktur *Neural network* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4. Secara prinsip desain struktur *Neural network* mempunyai dua *input* dan satu *output*.
 - **Input** yang digunakan adalah total beban pada jam tertentu dan *feasibility state* untuk mensuplai beban tersebut.
 - **Output** yang digunakan adalah *generation* atau pola pembagian beban yang paling optimal yang harus dilakukan oleh setiap generator sesuai dengan *feasibility state* dan total beban pada jam tersebut.

Karena jumlah *feasibility state* dan *generation* jumlahnya selalu sama dengan jumlah generator maka, dengan kata lain jumlah *input* adalah sama dengan jumlah *output* ditambah 1 ($NG + 1$) sedangkan jumlah *output* adalah (NG). Mengingat data yang digunakan pada penelitian ini adalah dua jenis data, data yang pertama adalah data pembangkit dan pola pembebanan. Kedua jenis data tersebut diambil dari referensi [2] dengan 4 Generator dan P2B. Maka desain struktur NN yang digunakan untuk data referensi [2] tersebut disajikan seperti pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Struktur Neural Network Menggunakan Metode *Advanced Forward Dynamic Programming Data Allen*

Dari gambar 3.3 tersebut diketahui karena jumlah generator (NG) adalah 4, maka jumlah input adalah 5 atau $(4 + 1)$, sedangkan jumlah output adalah 4. Data kedua yang digunakan pada penelitian ini adalah data P2B yang memiliki 24 generator ($NG=24$) maka struktur NN yang didesain pada penelitian ini memiliki 25 *input* dan 24 *output* seperti gambar 3.4 berikut.



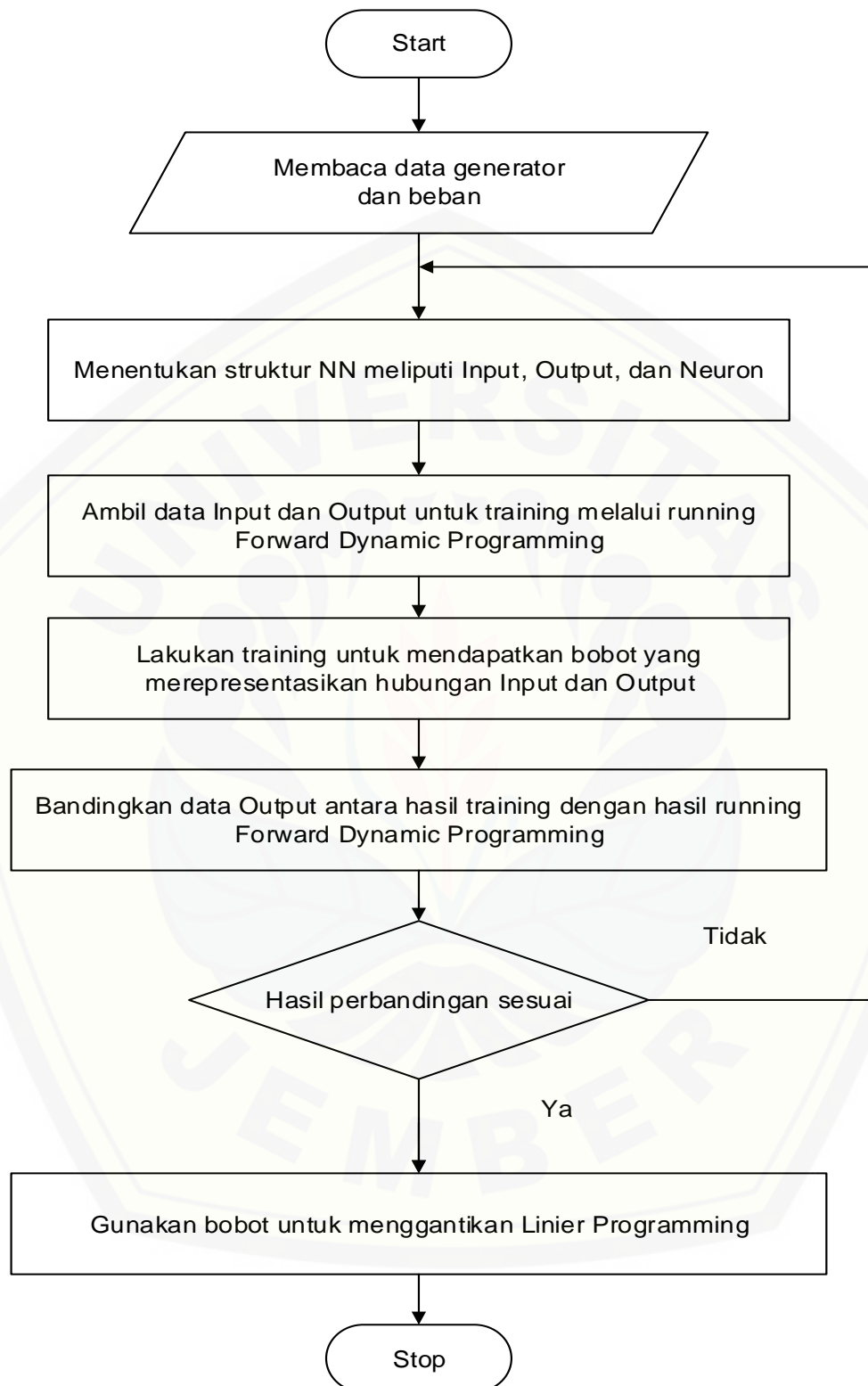
Gambar 3.4 Struktur Neural Network pada Proses Unit Commitment Menggunakan Metode *Advanced Forward Dynamic Programming* Data P2B

Dari gambar 3.4 tersebut diketahui karena jumlah generator (NG) adalah 24, maka jumlah *input* adalah 25 atau (24 +1) , sedangkan jumlah *output* adalah 24. Struktur NN yang disajikan baik pada gambar 3.3 maupun gambar 3.4 mempunyai satu *hidden layer* dengan jumlah *neuron* 17. Bentuk umum persamaan *feed forward neural network* pada setiap *neuron* sesuai dengan gambar 3.3 dan 3.4 adalah sebagai berikut:

$$Z = (\sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i + b_i)$$

$$Z' = \text{logsig } Z = 1 / (1 + \exp(-Z)) \quad (3.7)$$

Proses untuk menjalankan *neural network* akan dipaparkan dalam *flowchart* pada gambar 3.5 berikut ini dan selengkapnya akan dijelaskan pada bab 4.

Gambar 3.5 Proses *Training Neural Network*

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan *all state* untuk metode *complete enumeration* hanya memungkinkan untuk jumlah generator dibawah 20 generator dengan acuan Excel 2016.
2. Penentuan *all state* untuk metode *priority list* lebih dapat diaplikasikan untuk semua studi kasus.
3. *Advanced forward dynamic programming* berbasis NN terbukti mampu menghasilkan pengoperasian yang optimal dengan hasil yang sama dengan yang dihasilkan oleh *forward dynamic programming*.
4. *Advanced forward dynamic programming* berbasis NN terbukti mampu mendapatkan nilai yang optimal dengan waktu eksekusi jauh lebih cepat dibandingkan dengan *forward dynamic programming* yaitu 3 kali lebih cepat.

5.2 Saran

Dalam penjadwalan pembangkit menggunakan metode *advanced Forward Dynamic Programming* bisa dikembangkan tidak hanya untuk *line* 500 kV. Tugas akhir ini bisa juga dikembangkan tidak hanya mempertimbangkan perusahaan PT. Pembangkitan Jawa Bali dan Indonesia Power saja melainkan perusahaan swasta lainnya. Pengembangan yang lainnya bisa juga berupa perhitungan *Scost* agar didapatkan *Fcost* yang jauh lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Able. (2011, Juni 24). *Sejarah PLTU Paiton*. Retrieved Desember 7, 2016, from Explore Dream Discover: <http://abe-21.blogspot.co.id/2011/06/sejarah-pltu-paiton.html>
- Allen J. Wood, B.F.W., Gerald B. Sheblé, *Power Generation, Operation, and Control*. Wiley. 2013, Second Edition.
- Basri, H. (2011, Januari 2). *PLTU Paiton Baru*. Retrieved Desember 7, 2016, from Catatan Hasan Basri: <http://hasanbasrietos.blogspot.co.id/2011/01/pltu-paiton-baru.html>
- Darmawan, A., Pudjoatmodjo, B., & Suliiyo, M. D. (2013). *Binary Differential Evolution untuk Permasalahan Unit Commitment pada Pembangkit Listrik*. Bandung: Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknik Informatika Universitas Telkom
- Erickson, J. (2014). *Algorithms*. Urbana-Champaign: University of Illinois
- Faishal. (2009, Mei 13). *Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Pulau Jawa*. Retrieved Desember 8, 2016, from Power '07 Blog: <http://powerist07.blogspot.co.id/2009/05/pembangkit-listrik-tenaga-uap-di-pulau.html>
- Gana, C., Penangsang, O., & Wibowo, R. S. (2014). *Unit Commitment dengan Forward Dynamic Programming Mempertimbangkan Ramp-Rate dan Karakteristik Input-Output Non-Linier pada Setiap Pembangkit di Microgrid*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Institut Sepuluh Nopember

- Hidayat, A. (2012, Desember 22). *Paiton dan PLN*. Retrieved Desember 7, 2016, from Tugas-Tugas Kampus Management Univ Singaperbangsa: <http://tugasisproblem.blogspot.co.id/2012/12/paiton-dan-pln.html>
- Hidayat, H. A. (2012). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Bandung: Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia
- Ilmi. (2011, Desember 11). *Strategi Operasi*. Retrieved Desember 7, 2016, from Ilmi's Blog: <https://ilm1.wordpress.com/2011/12/11/strategi-operasi/>
- Imaduddin. (2008, Desember 16). *Single Line Diagram Sistem Jawa Madura Bali*. Retrieved Desember 7, 2016, from Imaduddin's Weblog: <https://imadudd1n.wordpress.com/2008/12/16/single-line-diagram-sistem-jawa-madura-bali/>
- Kusumo, D. (2010). *Road Map to Operational and Service Excellences 2010-2014*.
- Mukhtar, A. R. (2014). *Penjadualan Pembangkit Hidro-Thermal Menggunakan Metode Dynamic Programming*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- PJB, P. (n.d.). *Tentang Kami*. Retrieved Desember 7, 2016, from PJB: <http://www.ptpjb.com/id/profil-menu/tentang-kami.html>
- Rahman, A. (2013). *Analisis Penjadwalan Operasi Unit-Unit Pembangkit Listrik di Wilayah Riau dengan Menggunakan Metode Modified Unit Decommitment*. Riau: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru
- Rahmat, S., Abdullah, A. G., & Hasbullah. (2014). Koordinasi Hidro Thermal Unit Pembangkitan Jawa-Bali Menggunakan Metode Dynamic Programming. *Electrans*, 167-180

Singhal, P. K., & Sharma, R. N. (2011). Dynamic Programming Approach for Large Scale Unit Commitment Problem. *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 714-717



LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel *Feasible State Priority List* Generator Allen J. Wood

• Jam ke-4

State	Feasible State					Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
	0	1	1	0	0	240	300	0			
2	0	1	1	0	0	240	300	0	550	540	
3	1	1	1	0	25	215	300	0	630	540	
4	1	1	1	1	25	195	300	20	690	540	

• Jam ke-5

State	Feasible State					Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
	0	1	1	0	0	100	300	0			
2	0	1	1	0	0	100	300	0	550	400	
3	1	1	1	0	25	75.00001	300	0	630	400	
4	1	1	1	1	25	60	295	20	690	400	

• Jam ke-6

State	Feasible State					Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
	0	0	1	0	0	0	280	0			
1	0	0	1	0	0	0	280	0	300	280	
2	0	1	1	0	0	60	220	0	550	280	
3	1	1	1	0	25	60	195	0	630	280	
4	1	1	1	1	25	60	175	20	690	280	

• Jam ke-7

State	Feasible State					Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
	0	0	1	0	0	0	290	0			
1	0	0	1	0	0	0	290	0	300	290	
2	0	1	1	0	0	60	230	0	550	290	
3	1	1	1	0	25	60	205	0	630	290	
4	1	1	1	1	25	60	185	20	690	290	

• Jam ke-8

State	Feasible State					Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
	0	1	1	0	0	200	300	0			
2	0	1	1	0	0	200	300	0	550	500	
3	1	1	1	0	25	175	300	0	630	500	
4	1	1	1	1	25	155	300	20	690	500	

Lampiran 2. Tabel *Feasible State Complete Enumeration* Generator Allen J. Wood

- Jam ke-4

State	Feasible State				Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
13	0	1	1	0	0	240	300	0	550	540
14	0	1	1	1	0	220	300	20	610	540
15	1	1	1	0	25	215	300	0	630	540
16	1	1	1	1	25	195	300	20	690	540

- Jam ke-5

State	Feasible State				Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
12	1	0	1	1	80	0	300	20	440	400
13	0	1	1	0	0	100	300	0	550	400
14	0	1	1	1	0	80	300	20	610	400
15	1	1	1	0	25	75.00001	300	0	630	400
16	1	1	1	1	25	60	295	20	690	400

- Jam ke-6

State	Feasible State				Generation (MW)				Pmax Gen (MW)	Demand (MW)
6	0	0	1	0	0	0	280	0	300	280
7	0	1	0	1	0	250	0	30	310	280
8	1	1	0	0	30	250	0	0	330	280
9	0	0	1	1	0	0	260	20	360	280
10	1	0	1	0	25	0	255	0	380	280
11	1	1	0	1	25	235	0	20	390	280
12	1	0	1	1	25	0	235	20	440	280
13	0	1	1	0	0	60	220	0	550	280
14	0	1	1	1	0	60	200	20	610	280
15	1	1	1	0	25	60	195	0	630	280
16	1	1	1	1	25	60	175	20	690	280

- Jam ke-7

<i>State</i>	<i>Feasible State</i>					<i>Generation (MW)</i>				<i>Pmax Gen (MW)</i>	<i>Demand (MW)</i>
6	0	0	1	0	0	0	290	0	300	290	
7	0	1	0	1	0	250	0	40	310	290	
8	1	1	0	0	40	250	0	0	330	290	
9	0	0	1	1	0	0	270	20	360	290	
10	1	0	1	0	25	0	265	0	380	290	
11	1	1	0	1	25	245	0	20	390	290	
12	1	0	1	1	25	0	245	20	440	290	
13	0	1	1	0	0	60	230	0	550	290	
14	0	1	1	1	0	60	210	20	610	290	
15	1	1	1	0	25	60	205	0	630	290	
16	1	1	1	1	25	60	185	20	690	290	

- Jam ke-8

<i>State</i>	<i>Feasible State</i>				<i>Generation (MW)</i>				<i>Pmax Gen (MW)</i>	<i>Demand (MW)</i>
13	0	1	1	0	0	200	300	0	550	500
14	0	1	1	1	0	180	300	20	610	500
15	1	1	1	0	25	175	300	0	630	500
16	1	1	1	1	25	155	300	20	690	500

Lampiran 3. Tabel *Feasible State Priority List* Generator Data P2B 5 Desember 2016

- Jam ke-2

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	505.6001	0	60	60	60	34.99998
		400	400	400	400	575.2	575.2	355.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	215.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	175.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	55.2	55.2	55.2	35
		399.9555	399.9577	399.9555	399.9576	564.0149	563.2167	150	150	33.00006	33.00006	33.00006	14.00012
		400	400	400	400	575.1973	345.8026	150	150	33	33	33	14.00005
		399.9999	399.9999	399.9999	399.9999	575.2	139.8005	150	150	33.00002	33.00002	33.00002	14.00001
		400	400	400	400	393.7466	82.25345	150	150	33	33	33	14
		400	399.9999	400	399.9999	155.366	81.63307	150	150	33	33	33	14.00061
	322.6412	399.1021	322.6412	399.0009	80	80.00007	150	150	33	33	33	14.00022	

State	Feasible State												
	No. Gen	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

14		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16		1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17		1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
18		1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
19		1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
20		1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Generation (MW)</i>	34.99998	55	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0
	35	55	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0
	35	55	0	0	0	140	400	0	0	0	0	0	0
	35	55	0	0	0	140	400	40	0	0	0	0	0
	35	55	0	0	0	140	400	40	40	0	0	0	0
	14.00012	37.0002	0	0	150	140	399.9414	40	40	0	0	0	0
	14.00005	37	206	0	150	140	400	40	40	0	0	0	0
	14.00001	37	206	206	150	140	399.9997	40	40	0	0	0	0
	14	37	206	206	150	140	400	40	40	239	0	0	0
	14.00061	37	206	206	150	140	399.9999	40	40	239	239	0	0
14.00022	37	206	206	150	140	394.6141	40	40	239	239	239	0	

<i>State</i>	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Pmax Gen (MW)</i>	3963.4	4471.4	4671.4	4771.4	4871.4	5379.4	5929.4	6479.4	7005.4	7531.4	8057.4
<i>Demand (MW)</i>	3961	3961	3961	3961	3961	3961	3961	3961	3961	3961	3961

- Jam ke-3

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	439.6	0	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	289.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	59.87381	59.87381	59.87381	34.99999
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	46.54082	46.54082	46.54082	34.99999
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	33.20098	33.20098	33.20098	35
		400	400	400	400	575.0943	485.9057	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	572.6789	282.3211	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	566.0105	82.98945	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	330	80	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	90.9999	80.0001	150	150	33	33	33	14
		293.3949	398.5575	293.3949	398.372	80.00001	80	150	150	33	33	33	14.00004

State	Feasible State											
	No. Gen	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Lampiran 4. Tabel *Feasible State* Generator Data P2B 9 Desember 2016

- Jam ke-2

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	508	247.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	465.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	425.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	385.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	235.6	150	60	60	60	35
		399.996	399.996	399.996	399.996	575.1998	575.2	150	150	33.00004	33.00004	33.00004	24.30838
		400	400	400	400	575.2	389.8	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	575.1984	150.8016	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	404.9776	82.02242	150	150	33	33	33	14
	399.9991	399.9991	399.9991	399.9991	134.0689	113.933	150	150	33	33	33	14.00088	

State	Feasible State												
	No. Gen	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16		1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17		1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

• Jam ke-3

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	506.5999	150.0001	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	366.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	326.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	286.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	55.53333	55.53333	55.53333	35
		399.9999	399.9999	399.9999	399.9999	575.2	496.8003	150	150	33	33	33	14.00004
		400	400	400	400	573.9965	292.0035	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	544.5962	82.40376	150	150	33	33	33	14
	400	400	400	400	305.4439	82.5561	150	150	33	33	33	14	
	397.4448	397.8055	397.4448	397.7855	80.00002	80.00018	150	150	33	33	33	14	

State	Feasible State												
	No. Gen	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15		1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
16		1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17		1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

Lampiran 5. Tabel *Feasible State* Generator Data P2B 11 Desember 2016

- Jam ke-2

State	No. Gen	<i>Feasible State</i>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Generation (MW)</i>		400	400	400	400	575.2	575.2	508	475.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	335.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	295.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	255.6001	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	463.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	257.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	33	33	33	35
		400	400	400	400	575.2	378.8	150	150	33	33	33	14
		399.9999	399.9999	399.9999	399.9999	575.2	139.7927	150	150	33.00004	33.00004	33.00004	14.00398
	400	400	400	400	394.0998	81.9002	150	150	33	33	33	14	

- Jam ke-3

State	Feasible State												
	No. Gen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	508	384.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	244.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	508	204.6	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	507.9993	164.6007	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	372.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	166.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.1854	526.8146	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	575.1763	287.8237	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	543.9485	80.05149	150	150	33	33	33	14
	400	400	400	400	302.1463	82.85372	150	150	33	33	33	14	

Lampiran 6. Tabel *Feasible State* Generator Data P2B 25 Desember 2016

- Jam ke-2

State	No. Gen	<i>Feasible State</i>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Generation (MW)</i>	400	400	400	400	575.2	575.2	508	189.6	60	60	60	35	
	400	400	400	400	575.2	575.2	407.6	150	60	60	60	35	
	400	400	400	400	575.2	575.2	367.6	150	60	60	60	35	
	400	400	400	400	575.2	575.2	327.6	150	60	60	60	35	
	400	400	400	400	575.2	575.2	177.6	150	60	60	60	35	
	400	399.9999	400	399.9999	570.8172	542.179	150	150	33.0013	33.0013	33.0013	14.00001	
	400	400	400	400	574.7967	332.2033	150	150	33	33	33	14	
	400	400	400	400	575.1987	92.80126	150	150	33	33	33	14	
	400	400	400	400	345.7131	83.2869	150	150	33	33	33	14	
400	400	400	400	109.9871	80.01294	150	150	33	33	33	14		

- Jam ke-3

State	No. Gen	Feasible State											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generation (MW)		400	400	400	400	575.2	575.2	364.5999	150.0001	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	224.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	184.6	150	60	60	60	35
		400	400	400	400	575.2	575.2	150	150	58.20001	58.20001	58.20001	35
		400	400	400	400	575.1827	560.8173	150	150	33	33	33	14
		400	400	400	400	574.5373	355.4626	150	150	33	33	33	14.00001
		400	399.9999	400	399.9999	575.2	148.8004	150	150	33.00001	33.00001	33.00001	14.00001
		400	400	400	400	402.6778	82.32223	150	150	33	33	33	14
		400	399.9999	400	399.9999	163.8927	82.10651	150	150	33	33	33	14.00051
		326.7447	399.1737	326.7447	399.0835	80	80.00009	150	150	33	33	33	14.00025

