

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu sumber energi terpenting dalam kehidupan modern saat ini. Listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat dan industri. Hampir semua peralatan yang dekat dengan kehidupan manusia selalu membutuhkan listrik. Listrik yang dikonsumsi masyarakat disediakan oleh berbagai unit pembangkit listrik yang saling terhubung. Sementara itu, biaya bahan bakar menyumbang 60% dari total biaya operasional [1]. Pengoperasian sistem kelistrikan membutuhkan biaya. Biaya pengoperasian sistem tenaga listrik (termasuk biaya pembelian tenaga listrik, biaya personil (pegawai), biaya bahan bakar dan biaya bahan operasi) merupakan bagian terbesar dari biaya perusahaan tenaga listrik.

Beban sistem secara umum terbagi kedalam beban residensial, beban industri dan beban komersial [2]. Beban Residensial adalah beban listrik yang digunakan dalam rumah tangga, seperti lampu, AC, televisi, dan peralatan rumah tangga lainnya. Beban industri adalah beban listrik yang digunakan oleh industri, seperti mesin-mesin produksi, alat-alat berat, dan peralatan lain yang dibutuhkan untuk proses produksi. Dan beban komersial adalah beban listrik yang digunakan oleh bisnis, seperti kantor, toko, restoran, dan perusahaan-perusahaan lain yang membutuhkan listrik untuk menjalankan bisnis.

Masing-masing beban sistem memiliki beban puncak yaitu beban listrik tertinggi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu [2]. Penggunaan beban puncak pada beban residensial biasanya terjadi pada malam hari ketika semua lampu dan peralatan rumah tangga lainnya dinyalakan. Penggunaan beban puncak pada beban industri biasanya terjadi pada jam-jam kerja ketika mesin-mesin produksi dan alat-alat berat bekerja pada kapasitas maksimal. Penggunaan beban puncak pada beban komersial bergantung pada jenis bisnis dan jam operasinya, tetapi biasanya terjadi pada siang hari ketika bisnis sedang beroperasi dan membutuhkan listrik untuk peralatan dan mesin.

Beban sistem sangat tergantung pada permintaan daya pelanggan yang selalu berubah dari waktu ke waktu [3]. Misalnya pada hari tertentu, beban total pada sore hari akan tinggi karena banyak industri yang beroperasi dan banyak lampu yang menyala, sedangkan pada tengah malam atau pagi hari, kebutuhan beban total lebih rendah. Selain itu, selama seminggu, kebutuhan beban pada hari sabtu atau minggu lebih rendah dari hari-hari sebelumnya karena kantor dan industri tidak beroperasi pada hari sabtu atau minggu.

Karena biaya operasi dan beban selalu berubah dari waktu ke waktu, sangat tidak efisien untuk menjalankan terlalu banyak unit pembangkit ketika permintaan

beban rendah. Oleh karena itu, penjadwalan pengoperasian sistem pembangkit listrik merupakan masalah penting. Penjadwalan operasi sistem pembangkit listrik didasarkan pada prinsip meminimalkan biaya bahan bakar dalam batasan beban sistem yang ada. Masalah ini dikenal sebagai *unit commitment* (komitmen unit pembangkit) [3].

Optimasi dalam pembangkitan tenaga listrik terutama pembangkit termal yang mencakup biaya operasi minimum dan daya yang optimal sangatlah penting. Dalam menghadapi kendala-kendala seperti ketersediaan bahan bakar yang semakin menipis dan biaya operasi yang signifikan, optimasi dapat memberikan solusi yang efisien dan ekonomis. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mencapai optimasi dalam pembangkitan tenaga listrik adalah dengan menerapkan teknik-teknik optimasi dalam *unit commitment* dan *economic dispatch*.

*Unit commitment* dalam optimasi pembangkit termal adalah proses penjadwalan pengoperasian pembangkit listrik pada waktu tertentu dalam rangka memenuhi permintaan listrik dan memaksimalkan keuntungan [1]. Tujuan optimasi *unit commitment* adalah untuk menghasilkan jadwal operasi yang dapat memenuhi permintaan listrik dengan biaya yang minimal dan mempertimbangkan batasan teknis yang ada. *Unit commitment* memenuhi siklus pemakaian listrik manusia sehari-hari, diimbangi dengan siklus pembangkitan energi listrik. Pembangkitan energi listrik tersebut dilakukan penjadwalan unit *commit (on)* dan unit yang *decommit (off)* dalam siklus waktu tertentu agar pasokan kebutuhan listrik konsumen terpenuhi [4]. Penjadwalan tersebut harus memerhatikan kondisi optimal ekonomi dan juga harus memenuhi batasan-batasan teknis dalam pengoperasian pembangkit dalam sistem tenaga.

*Dynamic programming* digunakan sebagai teknik optimasi yang efektif dalam menyelesaikan optimasi pembangkit listrik termal untuk masalah *unit commitment* dan *economic dispatch* [5]. Keunggulan dari menggunakan *dynamic programming* dalam menyelesaikan masalah optimasi penjadwalan pembangkit termal adalah efisiensi yang tinggi, solusi optimal dari permasalahan optimasi penjadwalan pembangkit termal, yang merupakan solusi terbaik untuk meminimalkan biaya produksi dan memaksimalkan keuntungan.

Metode *dynamic programming* sering digunakan dalam menyelesaikan penjadwalan unit pembangkit. Beberapa penelitian yang menggunakan metode *dynamic programming* dalam optimasi penjadwalan yaitu salah satunya yang

dilakukan Rahmat saepuloh dalam penelitiannya terkait “koordinasi hidro-termal unit pembangkitan jawa-bali menggunakan metode *dynamic programming*” [5]. Penelitian tersebut bertujuan untuk mencari hasil optimasi yang optimum berupa kombinasi unit pembangkit yang nilai pembangkitannya paling ekonomis untuk melayani beban, 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 pemecah masalah optimal tiap unit pembangkit akan semakin kuat.

Penyelesaian masalah *unit commitment* dan *economic dispatch* dalam optimasi pembangkit termal menggunakan *dynamic programming* dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan yaitu *forward dynamic programming* dan *backward dynamic programming*. *Forward dynamic programming* dan *backward dynamic programming* adalah dua pendekatan yang digunakan dalam *dynamic programming* untuk menyelesaikan masalah optimasi pembangkit listrik termal. Setiap pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. *Forward Dynamic Programming* dalam optimasi pembangkit termal dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pembangkitan energi yang dihitung dari waktu awal dan disimpan dalam tabel [6]. Dalam *unit commitment*, *forward dynamic programming* dapat digunakan untuk menentukan jadwal operasi optimal untuk setiap unit pembangkit dengan mempertimbangkan batasan teknis dan ekonomi, seperti kapasitas pembangkit, biaya bahan bakar, ketersediaan bahan bakar, dan batas waktu operasi.

Maka dari itu, untuk penyelesaian *unit commitment* digunakan dengan pendekatan *forward* dalam metode *dynamic programming* dengan 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 terminal-nya [7].

Dengan demikian penelitian ini mengimplementasikan metode *forward dynamic programming* untuk sistem *unit commitment* pada pembangkit termal. Metode *forward dynamic programming* lebih menghemat waktu *running* dan penggunaan ruang dalam penyelesaiannya jika jumlah unit yang digunakan banyak. Dengan metode ini dapat menyelesaikan masalah penjadwalan unit pembangkit agar

lebih efisien dalam memenuhi kebutuhan beban konsumen.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka rumusan masalah yang ditekankan pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana penerapan metode *forward dynamic programming* dalam optimasi penjadwalan pembangkit termal?
- b. Bagaimana kinerja metode *forward dynamic programming* dalam optimasi penjadwalan pembangkit termal?

## 1.3 Tujuan

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

- a. Mengimplementasikan metode *forward dynamic programming* untuk optimasi penjadwalan pembangkit termal.
- b. Menganalisis kinerja metode *forward dynamic programming* dalam optimasi penjadwalan pembangkit termal.

## 1.4 Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang dicapai yaitu:

- a. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam upaya pengembangan ilmu pengetahuan dibidang teknik elektro salah satunya adalah pengaplikasian operasi sistem tenaga listrik lebih lanjut lagi tentang *unit commitment & economic dispatch* serta metode *forward dynamic programming* sebagai salah satu metode yang dipakai untuk mencari optimasi penjadwalan pembangkit listrik khususnya pembangkit listrik termal.

- b. Manfaat Praktis

Penerapan *forward dynamic programming* untuk penjadwalan pembangkit termal dalam memberikan jadwal operasi sistem pembangkit listrik optimal dan dapat menjadi masukan bagi perusahaan listrik dalam manajemen operasionalnya sehingga diharapkan menghemat biaya operasional terutama biaya bahan bakar.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan adalah:

- a. Nilai *start-up cost* diasumsikan 0.

- b. Data Pembangkit termal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PLTP Kamojang dan PLTP Darajat yang dikelola oleh PT. Indonesia Power Kamojang POMU.
- c. Data yang dijadikan sebagai studi kasus pada penelitian ini terdiri dari 9 kondisi studi kasus yaitu 4 studi kasus pada tahun 2018 dan 5 studi kasus pada tahun 2019 ditambah 1 studi kasus untuk *forecasting* (perkiraan) Tahun 2023.
- d. Batasan operasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah kapasitas daya pembangkit dan selain itu, rugi-rugi transmisi pada penelitian ini diabaikan.

### 1.6 States of The Arts

Penelitian mengenai optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan *forward dynamic programming* telah banyak dilakukan. Penelitian serupa yang menjadi referensi utama ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 State of The Arts

Judul	Peneliti	Tahun
<i>Dynamic programming based methodology for the optimization of the sizing and operation of hybrid energy plants</i>	Hilal Bahlawan, Mirko Morini, Michele Pinelli, Pier Ruggero Spina	2019
Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Keramasam dengan metode <i>Lagrange Multiplier</i>	Dedi Hermanto, Feby Ardianto	2020
<i>Dynamic Programming Approach to Unit Commitment Problem for Kuwait Power Generations</i>	Nadine Awadah, Rawan AlShikh Ali, Shaikha AlBaijan, Ghalia Al-Qallaf	2018
<i>Adaptive Dynamic Programming for Gas-Power Network Constrained Unit Commitment to Accommodate Renewable Energi with Combined-Cycle Units</i>	Yiting Xu, Tao Ding, Ming Qu, Pengwei Du,	2019
<i>Solving dynamic programming with supremum terms in the objective and application to optimal battery scheduling for electricity consumers subject to demand charges</i>	Morgan Jones, Matthew M. Peet	2018

Penelitian mengenai penjadwalan pembangkit termal menggunakan berbagai metode salah satunya dengan metode *dynamic programming* telah banyak dilakukan oleh berbagai lembaga, baik universitas ataupun lembaga riset. Pada Tabel 1.1

diperlihatkan masing-masing penelitian yang berkaitan dengan penjadwalan operasi pembangkit termal.

Pada tahun 2019, Hilal Bahlawan dkk, melakukan penelitian tentang *dynamic programming* untuk optimalisasi ukuran dan pengoperasian pembangkit energi hibrida [8]. Penelitian ini mendokumentasikan pengembangan metodologi berbasis *dynamic programming* untuk optimalisasi ukuran dan pengoperasian pembangkit energi hibrida. Penelitian ini dilakukan perbandingan dengan Metodologi optimasi algoritma genetika dan umumnya digunakan dalam literatur. Dibandingkan dengan metodologi berbasis algoritma genetika, metodologi *dynamic programming* menghasilkan penghematan energi primer dan penghematan waktu komputasi masing-masing sekitar 5,4% dan 41%.

Pada tahun 2018, Nadine awadah dkk, melakukan penelitian mengenai Pendekatan pemrograman dinamis untuk komitmen unit masalah pembangkit listrik Kuwait [9]. Penelitian ini berfokus pada dua metode optimisasi *dynamic programming* (DP) digunakan untuk memecahkan masalah skala besar yang dikenal sebagai unit commitment. Sampel sepuluh unit pembangkit yang membentuk satu pembangkit listrik di Kuwait dipilih untuk diuji. Kode MATLAB digunakan untuk menghasilkan solusi untuk sistem sepuluh unit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DP konvensional mengurangi biaya sebesar 36,1% sedangkan metode DP prioritas mengurangi biaya sebesar 35%.

Pada tahun 2018, Jones morgan dan Matthew M Pee melakukan penelitian mengenai *Solving dynamic programming with supremum terms in the objective and application to optimal battery scheduling for electricity consumers subject to demand charges* [10]. Pada penelitian ini berfokus pada pengoptimalan untuk merepresentasikan penjadwalan baterai yang optimal seperti *Tesla Powerwall* untuk konsumen listrik yang dikenakan biaya permintaan Biaya berdasarkan tingkat konsumsi listrik maksimum. Kesimpulan dari masalah pemrograman dinamis dan menunjukkan bahwa jika fungsi tujuan dapat dipisahkan ke depan, masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan pemrograman dinamis augmented yang setara. Sehingga masalah penjadwalan penyimpanan baterai yang optimal dengan adanya permintaan gabungan dan biaya waktu penggunaan adalah kasus khusus dari kelas masalah pemrograman dinamis yang dapat dipisahkan ke depan ini.

Pada tahun 2019, Yiting Xu, melakukan penelitian tentang pemrograman dinamis adaptif untuk jaringan tenaga gas komitmen unit terbatas untuk

mengakomodasi energi terbarukan dengan unit siklus gabungan [11]. Penelitian ini menetapkan model komitmen unit terbatas jaringan tenaga gas stokastik dengan mempertimbangkan unit siklus gabungan dan jaringan gas. Selanjutnya, pemrograman dinamis adaptif (ADP) untuk mencegah kutukan dimensi diusulkan. Hasil numerik memverifikasi keefektifan model yang diusulkan.

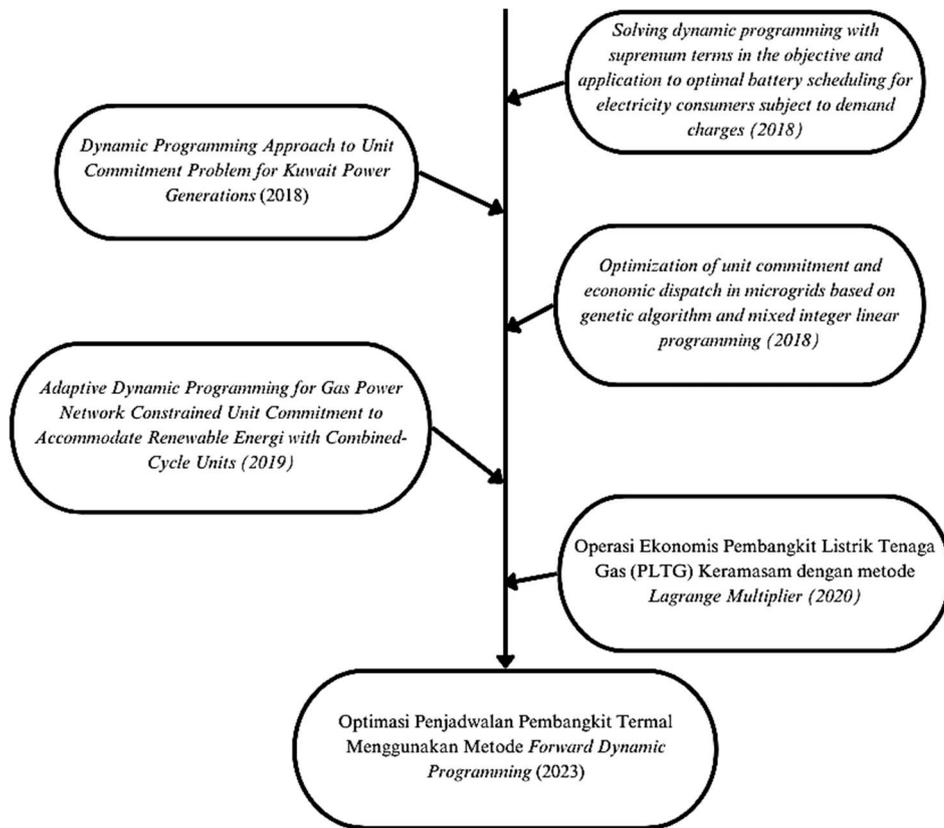
Pada tahun 2020, Dedi Hermanto dan Feby Ardianto melakukan penelitian mengenai operasi ekonomis pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) keramasam dengan metode Lagrange Multiplier [12]. Penelitian ini berfokus pada Operasi ekonomis sistem pembangkit tenaga listrik pada pembangkitan keramasan yang terdiri dari unit PLTG, PLTGU 1 dan PLTGU2 dilakukan dengan jalur pembagian penjadwalan atau economic dispatch dari masing-masing pembangkit sehingga operasi secara optimum sistem pembangkit tenaga listrik dapat mencapai biaya bahan bakar yang minimum. Tujuan penelitian optimasi ekonomis pada operasi sistem pembangkit tenaga listrik dengan metode langrange multiplier. Hasil analisis didapatkan biaya terbesar yang dipergunakan pada perusahaan listrik adalah biaya bahan bakar, sehingga dalam perencanaan operasi sistem agar biaya bahan bakar serendah mungkin, dicapai biaya bahan bakar yang optimum, dengan tetap memperhatikan kendala-kendala sistem seperti kemampuan pembangkit dari generator.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang membahas mengenai metode-metode dalam penjadwalan yang optimal dan biaya yang ekonomis dengan dijelaskan dari masing-masing metode mengenai kelebihan dan kekurangan tiap metode termasuk metode *dynamic programming*. Metode *forward dynamic programming* lebih menghemat waktu *running* dan penggunaan ruang dalam penyelesaiannya jika jumlah unit yang digunakan banyak. Maka dengan mengimplementasikan metode *forward dynamic programming* untuk sistem *unit commitment* pada pembangkit termal. Dengan metode ini dapat menyelesaikan masalah penjadwalan unit pembangkit agar lebih efisien dalam memenuhi kebutuhan beban konsumen

Dengan demikian pada penelitian tugas akhir ini dilakukan penelitian optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan metode *forward dynamic programming* untuk mendapatkan biaya yang ekonomis dan pembangkitan yang optimal.

*State of the arts* penelitian menggunakan lima rujukan yang terdiri dari jurnal

nasional dan internasional yang berhubungan dengan penelitian ini. Dimana hubungan dari setiap penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1.

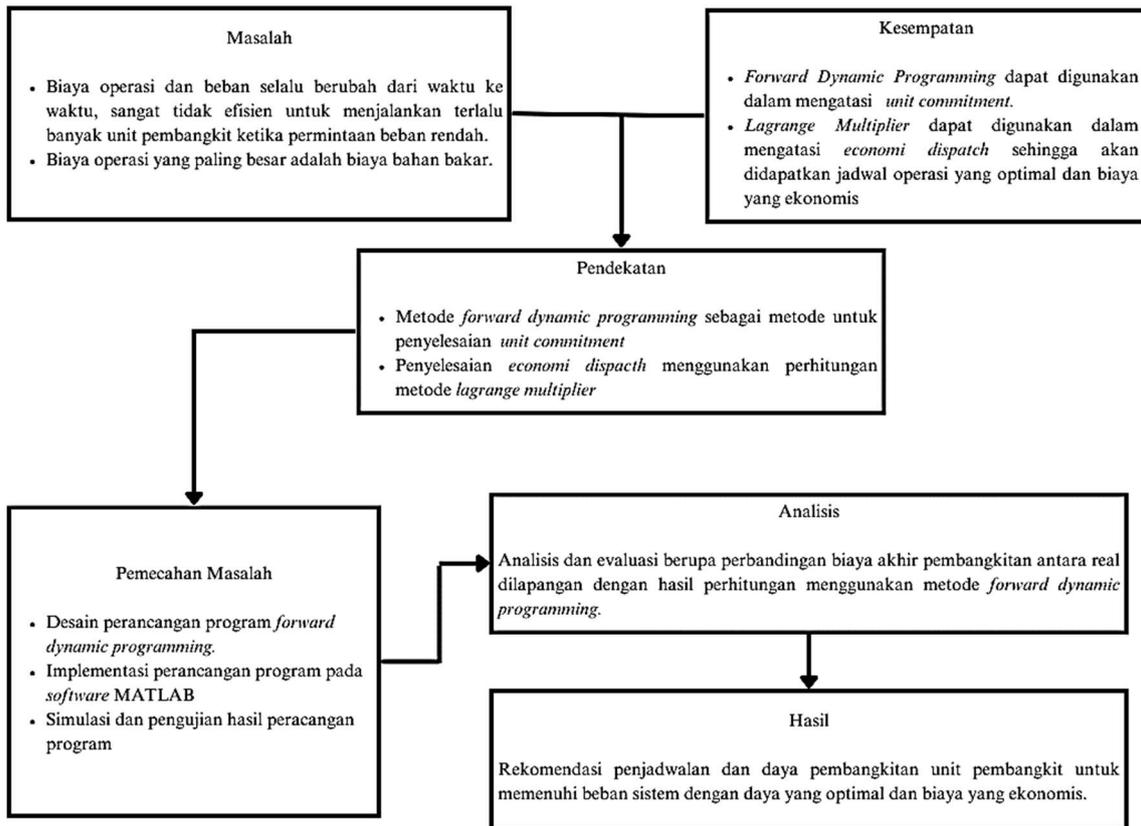


Gambar 1.1 Hubungan penelitian

## 1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian tugas akhir ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.





Gambar 1.2 Kerangka berpikir

## 1.8 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 6 (enam) bab dan setiap bab dibagi kedalam beberapa sub bab dengan penjelasan sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat akademis, manfaat praktis, state of the art, kerangka pemikiran dan sistematika penulisan. Latar belakang penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran tentang kondisi dan kebutuhan yang mendasari dilakukannya penelitian. Permasalahan yang akan diteliti merupakan fokus penelitian yang akan dibahas dalam proposal ini. Tujuan penelitian merupakan harapan atau hasil yang ingin dicapai dari penelitian. Manfaat penelitian merupakan dampak yang akan ditimbulkan dari hasil penelitian tersebut.

### BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini berisi tentang teori dasar tentang *unit commitment* kemudian mengenai *dynamic programming* dan pendekatan-pendekatan metode *dynamic programming* yaitu *forward dynamic programming* yang digunakan dalam penelitian serta memberikan gambaran proses analisis metode yang digunakan dalam penelitian

ini. Teori-teori yang mendasari mengenai optimasi penjadwalan pembangkit sistem tenaga listrik menggunakan metode *forward dynamic programming* dan Kajian literatur merupakan tinjauan terhadap penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti lain dan yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang desain penelitian, populasi dan sampel penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, serta rencana tindakan dan jadwal penelitian. Rancangan penelitian adalah rencana penelitian yang dilakukan, jenis penelitian apa yang dilakukan, bagaimana penelitian dilakukan, dan bagaimana data dikumpulkan dan dianalisis. Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang objek penelitian. Teknik analisis data adalah cara menganalisis data yang terkumpul. Rencana tindakan dan rencana penelitian merupakan rencana penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada bab ini diberikan diagram alur penelitian dan jadwal penelitian untuk tugas akhir optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan metode *forward dynamic programming*.

### **BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI**

Pada bab ini diuraikan tentang Perancangan optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan metode *forward dynamic programming* mulai dari pengumpulan data pembangkit, penentuan waktu pembebanan, penentuan kombinasi terbaik untuk *unit commitment* dan perhitungan *economic dispatch*.

### **BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini diuraikan tentang hasil dari perancangan optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan metode *forward dynamic programming* dengan daya optimal dari kombinasi terbaik untuk *unit commitment* dan biaya ekonomis dari perhitungan *economic dispatch*. Dan juga hasil tersebut dibandingkan dengan hasil real dilapangan yang terjadi.

### **BAB VI SIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini diuraikan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan tentang optimasi penjadwalan pembangkit termal menggunakan metode *forward dynamic programming*.