



Effectiveness of Minor Overhaul Elimination on Decreasing Cost of Production in Hydroelectric Power Plant

Pengaruh Eliminasi Minor Overhaul Terhadap Penurunan Biaya Pokok Penyediaan Pada PLTA Dengan Metode Markov Chain Melalui Laravel

*Rahmania Prasyayudha*¹⁾, *Sabar Setyawidayat*²⁾, *Fachrudin Hunaini*³⁾
^{1,2,3)} *Electrical Engineering, Widyagama University Malang, Indonesia*

¹⁾ yudhakaien@gmail.com

²⁾ sabarset@yahoo.com

³⁾ fadin.ft@gmail.com

Abstract- The projection of the renewable energy target in 2025 is 23%. The high production cost makes it difficult to compete with fossil plants. The strategy chosen to reduce the risk is to eliminate minor overhauls in power plants to increase production. To prove its effectiveness, hydropower was chosen by using markov chain method. It took samples for 26 months and divided plant into 3 states based on the operating performance. The test was between implementation of overhauls on schedule and eliminating minor overhauls when the status was good. The results of data processing obtained that the best decision is not to do minor overhaul elimination because of the potential to reduce 29.77% good conditions, 30.69% improvement in moderate conditions. Comparison between the 2017-2019 data show there's no production cost reduction even though potential production increase. Calculation can be implemented into a web form using the PHP on the Laravel Framework.

Keywords : Production Cost; Overhaul; Markov Chain.

Abstrak- Proyeksi target bauran energi baru terbarukan tahun 2025 sebesar 23% berbanding terbalik dengan total pemanfaatannya. Tingginya biaya pokok penyediaan menyebabkan pembangkit energi terbarukan sulit bersaing dengan pembangkit fosil. Strategi yang dipilih untuk menurunkan biaya pokok penyediaan adalah melakukan eliminasi minor overhaul pada pembangkit untuk meningkatkan produksi. Pembuktian efektifitas kebijakan diterapkan pada pembangkit listrik tenaga air sebagai komponen terbesar energi baru terbarukan dengan metode markov chain. Penelitian menggunakan sampel selama 26 bulan dan membagi pembangkit menjadi 3 status berdasarkan capaian kinerja operasi. Kebijakan yang diuji adalah pelaksanaan overhaul sesuai jadwal dibanding eliminasi minor overhaul saat status baik. Hasil pengolahan data didapat keputusan terbaik adalah tidak melakukan eliminasi minor overhaul karena berpotensi menurunkan kondisi baik 29.77%, peningkatan kondisi sedang 30.69%. Hasil perbandingan terhadap data 2017-2019 tidak terjadi penurunan biaya pokok penyediaan meskipun terdapat potensi peningkatan produksi. Proses perhitungan dapat diimplementasikan menjadi bentuk web dengan bahasa PHP pada framework Laravel.

Kata Kunci : Biaya Pokok Penyediaan; Overhaul; Markov Chain.

I. PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menyebutkan target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 adalah 23% dan 31% pada tahun 2050 [1]. Berbanding terbalik dengan proyeksi pertumbuhan yang meningkat, pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) untuk ketenagalistrikan masih rendah disebabkan masih tingginya Biaya Pokok Penyediaan pembangkit EBT sehingga sulit bersaing dengan pembangkit fosil terutama batubara yang tidak memperhitungkan biaya eksternalitas. Biaya Pokok Penyediaan (BPP) adalah biaya penyediaan listrik oleh PT.PLN (Persero) untuk melaksanakan kegiatan operasi di pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan pendistribusian tenaga listrik ke pelanggan dibagi dengan total kwh jual [2]. Strategi BPP pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) diterapkan dengan melakukan eliminasi *overhaul* pada scope minornya. Opsi ini dipilih karena dianggap memiliki pengaruh yang signifikan dalam penurunan BPP. Penelitian mengenai perhitungan harga yang kompetitif dan pemilihan alternative dalam penentuan komponen biaya dijelaskan oleh William G. Sullivan, Elin M. Wicks dan Patick Koelling dalam bukunya mengenai pentingnya penyelesaian masalah yang berfokus tidak hanya pada produk, sistem dan proses tetapi tetap memperhitungkan potensi penghematan yang diperoleh [3] didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Andri Swasono, Fachrudin Hunaini dan Dedi Usman dalam penelitian mereka yang menjelaskan pentingnya perhitungan *cost energy* untuk menurunkan BPP dan *cost investment* [4]. Perhitungan mengenai Biaya Pokok Penyediaan listrik dilakukan oleh Dodi Perdana Putra [5], Uliana Arta dan Juanda Astrani [6] penelitian mereka menjelaskan mengenai pentingnya perhitungan BPP listrik karena berhubungan dengan kebijakan penentuan tarif dan pelayanan kepada masyarakat.

Metode yang digunakan untuk mengetahui efektifitas strategi yang dipilih adalah menggunakan metode markov chain. Penelitian mengenai penggunaan metode markov chain dalam pengambilan keputusan perusahaan sebelumnya dilakukan oleh Rudi Tri Hartanto [7], M. Hartono dan Mas'udin [8] digunakan untuk menghitung probabilitas pemeliharaan mesin menjelaskan bahwa perhitungan dengan menggunakan metode *markov chain* sangat cocok dipilih karena tidak tergantung lama proses dimasa lalu, tetapi perhitungan berdasar *state* sekarang. Analisis yang dihasilkan akan menunjukkan pengaruh keputusan melakukan eliminasi *overhaul* yang telah dilaksanakan tepat atau dapat menggunakan alternative lain.

Dalam penelitian ini data sampel akan diolah dengan metode *markov chain* sehingga didapat hasil perhitungan yang akurat kemudian akan diimplementasikan dalam web Laravel dengan Bahasa pemrograman berformat php. Format php dipilih karena php merupakan Bahasa pemrograman yang dapat dijalankan pada berbagai platform dan kompatibel terhadap hamper semua server yang digunakan saat ini, bebas diunduh dari situs resmi php dan berjalan efisien pada sisi server [9] Perhitungan dengan menggunakan metode *markov*

chain yang rumit dapat dirubah menjadi format sederhana dengan tampilan visual yang mudah dipahami.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Overhaul

Overhaul merupakan salah satu usaha pemeliharaan unit pembangkit yang diharapkan dapat memberikan kontribusi yang optimal guna keandalan dan efisiensi sampai periode berikutnya (siklus *overhaul*). Untuk itu sangat diperlukan usaha – usaha guna mendapatkan hasil pelaksanaan *overhaul* yang memenuhi sasaran unit pembangkit [10].

Kegiatan *overhaul* meliputi tahapan kerja mulai dari perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan evaluasi pekerjaan pemeliharaan suatu alat/mesin/instalasi/jaringan dan lain lain. Tujuannya agar unit dapat beroperasi dengan handal (*reliability*), aman (*safe*), siap (*avaibility*) yang tinggi serta unjuk kerja yang baik sesuai dengan umur peralatan dan dengan waktu pemeliharaan yang efektif dan biaya yang efisien dan ekonomis. Berikut contoh jadwal dalam satu siklus *overhaul*.

[Table 1 about here.]

Pada table 1, pemeliharaan yang dilakukan di unit PLTA adalah:

- 1) *Annual Inspection (AI)* : Pemeliharaan yang dilakukan hanya memeriksa alat bantu utama dan dilakukan setiap 8000 jam.
- 2) *General Inspection (GI)* : Pemeliharaan yang dilakukan dengan membuka bearing, casing turbine, serta seluruh peralatan bantu. Dilakukan setiap 20.000 jam.
- 3) *Major Overhaul (MO)* : Pemeliharaan yang dilakukan dengan memeriksa peralatan utama (*turbine, bearing, shaft, generator*) serta peralatan bantunya, dan dilakukan setiap 40.000 jam.

2.2 Kinerja Operasi dan Biaya Pokok Penyediaan

Dalam pelaksanaan pemenuhan kebutuhan sistem operasi, seluruh unit pembangkit memiliki target operasinya masing masing. Target kinerja operasi ini kemudian digunakan untuk mengukur performa dari tiap tiap unit pembangkit dan menjadi dasar dalam pengoperasian unit pembangkit.

- 1) Target Produksi : Berisi besar daya yang diproduksi suatu unit pembangkit selama 1 tahun anggaran (GWh). Polaritas pencapaiannya adalah positif, yaitu semakin naik semakin baik.
- 2) Target Penjualan : Berisi besar daya yang disalurkan oleh sutau unit pembangkit pada jaringan sistem operasi selama 1 tahun anggaran (GWh). Polaritas pencapaiannya adalah positif, yaitu semakin naik semakin baik.
- 3) Pemakaian Sendiri (PS) : Jumlah KWh pemakaian sendiri dibagi total KWh produksi bruto pembangkit dalam

satuan persen (%). Polaritas pencapaiannya *negative* yaitu lebih rendah lebih baik.

- 4) *Equivalent Availability Factor (EAF)* : Faktor kesiapan mesin pembangkit untuk beroperasi pada DMN dalam satuan persen (%). EAF dalam sebuah unit pembangkit dihitung dengan formula :

$$EAF = \frac{\sum_{i=1}^n \{AH - (EFDH + EMDH + EPDH + ESEDH)\}}{\sum_{i=1}^n PH} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

- i : Jumlah unit pembangkit
- AH : *Availabe Hours*
- EFDH : *Equivalent Forced Derated Hours*
- EMDH : *Equivalent Maintenance Derated Hours*
- EPDH : *Equivalent Planned Derated Hours*
- ESEDH : *Equivalent Seasonal Derated Hours*
- PH : *Period Hours*

- 5) *Equivalent Forced Otage Factor (EFOR)* : Presentase jam gangguan dan jam derating yang tidak direncanakan terhadap jumlah jam pelayanan pembangkit dalam satu periode ditanyakan dalam satuan persen (%). EFOR memiliki polaritas *negative*, sehingga semakin rendah pencapaian maka semakin baik.
- 6) *Sudden Outage Factor (SdOF)* : Jumlah gangguan mendadak yang terjadi pada suatu unit pembangkit sehingga menyebabkan unit tidak siap operasi. SdOF dinyatakan dalam satuan kali/unit. SdOF memiliki polaritas *negatif*, sehingga semakin rendah pencapaian maka semakin baik.
- 7) *Scheduled Outage Factor (SOF)* : Rasio dari jumlah jam unit pembangkit keluar terencana dari jaringan operasi sistem (*planned outage dan maintenance outage*) terhadap jumlah jam dalam 1 periode.
- 8) *Air Limpas* : Air limpas dihitung ketika air melimpas melalui *spill way* dalam satuan kali (x). Penilaian terhadap kinerja ini dengan mempertimbangkan status kesiapan unit dan action plan dari pihak terkait.

Biaya Pokok Penyediaan listrik adalah biaya barang yang telah diselesaikan selama satu periode disebut juga harga pokok produksi barang selesai (*cost of good manufatured*) [11]. Penentuan biaya pokok penyediaan listrik pada pembangkit listrik terbentuk harga Rp/komponen biaya. Dalam hal ini komponen biaya yang dimaksud adalah komponen ABCD. Komponen ABCD dibentuk dengan perhitungan komponen biaya tetap berdasarkan kapasitas :

- 1) *Komponen A (Capital Cost Recovery)*. Merupakan pengembalian atas biaya kapital/modal yang ditanamkan dalam pembanungan pusat pembangkit.
- 2) *Komponen B (Fixed Cost Operation and Maintenance / O&M)*. Merupakan biaya yang harus dibayarkan/dikeluarkan dengan tidak melihat apakah unit

pembangkit tersebut beroperasi menghasilkan produksi energi/tidak.

- 3) *Komponen C (Variable Cost)*. Merupakan penggantian atas biaya bahan bakar yang digunakan dalam memproduksi energi listrik. Harga dan perlakuan untuk energi primer/bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit berbeda satu sama lain tergantung ada kesepakatan. Pada PLTA biaya ini adalah biaya pemakaian air.

2.3 Analisis Markov Chain

Markov chain adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifatnya dimasa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang [8]. Secara umum suatu proses *markov chain* adalah proses stokastik dimana setiap variable random X_t hanya tergantung pada variabel yang mendahuluinya yaitu $X_{(t-1)}$ dan hanya mempengaruhi variable random berikutnya yaitu $X_{(t+1)}$. Sehingga istilah *chain* disini menyatakan kaitan antara variable yang saling berdekatan. Perhitungan probabilitas dengan menggunakan analisis Markov dilakukan dengan menentukan rancangan pengamatan. Rancangan pengamatan kemudian menjadi dasar dalam perhitungan probabilitas. Probabilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P_{ij} = \frac{m_{ij}}{m_i} \quad (2)$$

Dimana :

- P_{ij} : Probabilitas
- M_{ij} : Keadaan system pada status-j
- M_i : Banyaknya/jumlah system pada status-j [8]

Hasil dari rancangan probabilitas tiap tiap status atau keputusan kemudian diolah kembali untuk menentukan keputusan rantai *markov chainnya*. Analisis keputusan dibagi menjadi 2 yaitu *finite stage* dan *infinite stage*. *Finite stage* dibatasi iterasi dan stagenya. Model ini digunakan pada persoalan mengenai perbaikan mesin, si pengambil keputusan dari persoalan perbaikan mesin tersebut merencanakan akan menghentikan pengoperasian mesin itu dalam n bulan. Maka *stagenya* dibatasi selama n bulan masa pengoperasian mesin berhenti. Menghitung nilai pada masing masing *stage* digunakan persamaan:

$$v_i^k = \sum_{j=1} p_{ij}^k r_{ij}^k \quad (3)$$

Dimana :

- V_i^k = Ekspektasi yang didapatkan dari suau transisi tunggal dari state-i pada suatu status k
- P = Probabilitas
- i = State status saat ini
- j = State status periode berikutnya

Sedangkan untuk perhitungan pada *stage* terakhir digunakan persamaan:

$$fn^{(i)} = \max_k \{v_i^k + \sum_{j=1} p_{ij}^k fn + 1(j)\} \quad (4)$$

Dimana :

k = Status perlakuan

$fn^{(i)}$ = Fungsi pada *stage*-n dengan status mesin saat ini

Infinite stage digunakan dalam perhitungan dengan lingkup *long run* atau perhitungan pada sistem yang dibutuhkan untuk mencapai status stabil (*steady stage*) dengan iterasi tidak terbatas. Metode yang digunakan pada perhitungan ini antara lain metode enumerasi sempurna, yang digunakan apabila jumlah total *stationary policy* tidak terlalu besar dan metode *policy iteration* yang mampu mengurangi kesulitan perhitungan pada metode pertama [12].

2.4 Laravel Framework

Framework adalah seperangkat struktur dan pedoman konseptual yang digunakan untuk membangun suatu bermanfaat. Laravel adalah salah satu framework PHP yang banyak digunakan dalam pembangunan program web. Laravel menggunakan struktur MVC (*Model View Controller*) yaitu program yang dapat memisahkan data dari tampilan berdasarkan komponen – komponen program. Struktur MVC membuat Laravel mudah dipelajari.

III. METODE

Metode penelitian yang dilakukan meliputi tahapan antara lain : pengumpulan data, penetapan klasifikasi untuk perhitungan *markov chain*, perhitungan *markov chain* melalui web Laravel, dan analisis hasil perhitungan. Data sampel yang digunakan berasal dari realisasi pencapaian kinerja operasi dan pencapaian BPP dalam kurun waktu 1 periode penelitian. Proses pengerjaan skripsi menggunakan metode *markov chain* sebagai dasar perhitungan probabilitas dan pengambilan keputusan yang selanjutnya diimplementasikan pada web *Laravel* dengan Bahasa pemrograman PHP.

3.1 Data Perhitungan Markov Chain

1) Data kinerja produksi pembangkit pada PLTA dikelompokkan menjadi 3 status yaitu baik, sedang dan berat. Klasifikasi usulan status dapat dilihat pada tabel 2.

[Table 2 about here.]

2) Penetapan usulan kebijakan memungkinkan perusahaan untuk mendapatkan hasil yang berbeda dari kebijakan baru yang dibuat. Penetapan usulan kebijakan menjadi pembanding atas kebijakan yang dilakukan perusahaan. Usulan kebijakan yang dibandingkan adalah :

a) Kebijakan 1 : Dilakukan inspeksi pada seluruh status.

b) Kebijakan 2 : Dilakukan inspeksi pada status 3 dan 2.

Tidak dilakukan inspeksi pada status 1.

3.2 Perhitungan Probabilitas

Probabilitas menunjukkan kemungkinan terjadinya suatu peristiwa yang bersifat acak. Nilai probabilitas terkecil adalah 0 yang berarti bahwa peristiwa yang tidak mungkin terjadi [13]. Variabel yang sudah ditentukan pada table 3.1 digunakan sebagai dasar penetapan matrix probabilitas transisi status unit pembangkit dan probabilitas transisi produksi pembangkit..

- 1) Rekapitulasi pembangkit saat dilakukan kebijakan 1 dan 2. Berikut contoh tabel hasil rekapitulasi perubahan status pembangkit saat dilakukan kebijakan 1 dan 2 untuk PLTA Ampelgading unit 1.

[Table 3 about here.]

Tabel 3 Rekapitulasi perubahan status pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2

[Table 4 about here.]

Tabel 4 digunakan sebagai *database* sedangkan table 3 digunakan sebagai *input* pada *software*.

- 2) Rekapitulasi produksi pada kebijakan 1 dan kebijakan 2. Perhitungan dilakukan dari perhitungan rata-rata produksi pada 1 periode dikurangi rata-rata produksi yang hilang selama waktu perawatan. Periode perhitungan adalah 1 periode (26 bulan = 2.28 tahun). Penentuan rekapitulasi produksi juga mempertimbangkan status unit pembangkit. Berikut hasil rekapitulasi produksi PLTA Ampelgading unit 1.

[Table 5 about here.]

Rekapitulasi produksi pembangkit saat dilakukan kebijakan 2 dihitung dari presentase perubahan produksi saat terjadi gangguan pada unit pembangkit sesuai dengan klasifikasi kerusakan yang dialami [14]. Presentase perubahan produksi yang terjadi pada pembangkit saat dilakukan eliminasi minor overhaul dihitung berdasarkan kemungkinan derating yang terjadi pada masing – masing status [15]. Berikut hasil rekapitulasi produksi PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2.

[Table 6 about here.]

- 3) Penentuan jumlah *stage*. Penentuan jumlah *stage* digunakan untuk menunjukkan lama periode metode perhitungan dapat digunakan. Perhitungan markov pada penelitian ini menggunakan metode *finite stage* dengan jumlah 2 *stage* dengan pertimbangan setiap 20.000 jam atau pada *stage* ke 3 unit akan dilakukan *general inspection*.

3.3 Diagram Alir Program

Diagram alir dari software yang dikembangkan sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 1. Langkah awal dalam

pemrograman adalah memasukkan data status pembangkit dan produksi pembangkit, selanjutnya *software* melakukan pembacaan data dan melakukan perhitungan probabilitas dan probabilitas transisi dari data *input*. Data kemudian diolah menggunakan metode *markov chain* dengan 2 stage seperti pada persamaan 2.3 dan persamaan 2.4. Hasil akhir dari *software* akan menunjukkan tindakan terbaik dan produksi maksimal dari masing masing *stage* untuk tiap unit pembangkit yang dipilih.

[Figure 1 about here.]

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Matrix Probabilitas Transisi Status

Perhitungan matrix dilakukan dengan menggunakan data pada tabel 3.2, tabel 3.3, tabel 3.4 dan tabel 3.5 menggunakan persamaan 2.2. Perhitungan ini berlaku untuk kebijakan 1 dan kebijakan 2 untuk seluruh status. Data perhitungan menjadi data uji pada program. Data tersebut direkap dengan menggunakan file ekstensi *.CSV.

[Figure 2 about here.]

4.2 Perhitungan Markovian 2 Stages

Langkah perhitungan markov dilakukan dengan menggunakan persamaan 3 dan persamaan 4. Hasil perhitungan akan dibandingkan untuk memperoleh produksi optimal pada status baik untuk kebijakan 1 dan kebijakan 2.

[Figure 3 about here.]

[Figure 4 about here.]

4.3 Perbandingan Biaya Pokok Penyediaan Hasil Kebijakan Markov dengan Biaya Pokok Penyediaan Aktual

Hasil yang didapat dari perhitungan *markov chain* pada program, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan aktual yang dicapai unit PLTA pada periode waktu yang sama. Nilai produksi maksimal yang ada pada program adalah nilai produksi untuk 1 periode (26 bulan). Capaian BPP yang dibandingkan dilakukan dalam waktu 1 tahun, maka terlebih dahulu dicari capaian produksi maksimal selama 1 tahun.

[Table 7 about here.]

Hasil perbandingan produksi digunakan untuk perhitungan capaian Biaya Pokok Penyediaan. Dengan asumsi biaya operasi (kepegawaian, administrasi, pemeliharaan) dan penyusutan sama, maka Biaya Pokok Penyediaan untuk hitungan *markov chain* dapat dihitung.

[Table 8 about here.]

[Figure 5 about here.]

4.4 Analisis Tabel dan Grafik

Analisis dilakukan terhadap 2 hasil perhitungan yaitu produksi dan biaya pokok penyediaan pada tabel 7 dan 8 serta grafik 5 Hasil analisis sebagai berikut :

1. Perbandingan antara capaian produksi hasil perbandingan markov dengan produksi aktual tahun 2018 dan 2019 didapat hasil capaian produksi markov lebih tinggi. Total produksi 2018 adalah 1.114.913 MWh, total produksi 2019 adalah 951.337 MWh sedangkan produksi markov sebesar 1.303.762 MWh. Sehingga potensi produksi yang dapat diraih sebesar 118.849 MWh untuk 2018 dan 352.425 MWh untuk 2019.
2. Anomali terjadi pada tahun 2019, untuk PLTA selain Ampelgading, Wonorejo dan Siman capaian produksi hasil perhitungan markov lebih kecil dibandingkan dengan produksi aktual PLTA.
3. Perbandingan BPP dan Produksi Markov pada tahun 2019, didapatkan produksi markov > produksi 2019 kecuali PLTA Siman dan Mendalan. Tapi tidak terjadi penurunan BPP pada PLTA dengan capaian produksi lebih tinggi. Potensi penurunan BPP terjadi pada PLTA Ngebel (potensi penurunan BPP 303 Rp/Kwh), PLTA Sutami (30 Rp/Kwh), PLTA Tulungagung (138 Rp/KWh). PLTA Wlingi (91 Rp/Kwh), dan PLTA Wonorejo (188 Rp/KWh).
4. Perbandingan BPP dan Produksi Markov pada tahun 2018 didapatkan capaian produksi markov > produksi 2018 kecuali PLTA Siman dan Mendalan. Capaian BPP markov dibanding BPP aktual mengikuti capaian produksi. Anomali terjadi pada PLTA Golang dan Giringan, capaian produksi markov > produksi aktual tetapi tidak terjadi penurunan BPP.
5. Perbandingan BPP dan Produksi Markov pada tahun 2017. Capaian produksi markov < capaian aktual produksi 2017. Anomali terjadi pada PLTA Ampelgading dan Wonorejo. Capaian BPP mengikuti capaian produksi, anomali terjadi pada PLTA Lodayo, PLTA Ngebel, PLTA Sengguh, dan PLTA Tulungagung. Hasil perhitungan BPP Markov < BPP aktual sedang produksinya lebih kecil.

Analisis juga dilakukan mengenai perubahan status unit pembangkit saat dilakukan kebijakan 2. Analisis yang diperoleh sebagai berikut :

- 1) Saat dilakukan kebijakan 2, unit mengalami kemungkinan unit pembangkit dalam status berat menurun dari 1.59% saat dilakukan kebijakan 1 menjadi 0.66% saat dilakukan kebijakan 2.
 - a. Status baik mengalami penurunan sebesar 29.77% dari 80.56% pada saat dilakukan kebijakan 1 menjadi 50.79% saat dilakukan kebijakan 2 penurunan. Status berbeda terjadi pada status sedang yang mengalami peningkatan sebesar 30.69% dari 17.86% menjadi 48.54% saat dilakukan kebijakan 2.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis hasil perhitungan menggunakan *software*, maka dapat disimpulkan bahwa kebijakan terbaik yang dapat digunakan perusahaan adalah kebijakan 1. Penurunan bpp karena peningkatan produksi hanya terjadi pada PLTA Sutami, Wlingi dan Wonorejo sedangkan PLTA yang lain terjadi anomali. Potensi kerusakan juga membesar didukung penurunan status baik dari 80.56% jika dilakukan kebijakan 1 menjadi 50.79% jika dilakukan kebijakan 2. Perhitungan metode markov dapat diimplementasikan pada *software* Laravel.

REFERENSI

- [1] Anonymous, "Outlook Energi Indonesia 2017," *Sekur Jendral Dewan Energi Nas.*, 2017.
- [2] Anonymous, "Peraturan Menteri Keuangan Nomor : 117/PMK.02/2005 Tentang Tata Cara Penghitungan dan Pembayaran Subsidi Listrik Tahun Anggaran 2005." Menteri Keuangan Republik Indonesia, 2005.
- [3] W. G. Sullivan, E. M. Wicks, and C. P. Koelling, *Engineering Economy*. Pearson Education, 2014.
- [4] A. Swasono, F. Hunaini, and D. U. Effendy, "Perancangan Aplikasi Perbandingan Biaya Energi Pada Industri Berbasis Netbeans," *J. Widya Tek.*, vol. 26, Oktober 2018.
- [5] D. Perdana Putra, "Perhitungan Harga Pokok Produksi Listrik pada PT PLN Batam." Politeknik Negeri Batam, 2011.
- [6] J. Astarani and A. Uliana, "Analisis Penentuan Biaya Produksi Listrik Dengan Metode Full Costing Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat Area Pontianak," *J. AAKFE*, vol. 2, no. 1, pp. 1–30, Agustus 2013.
- [7] R. Tri Hartanto, "Perencanaan Pemeliharaan Mesin Pompa Gilingan Saus dengan Metode Markov Chain untuk Minimasi Biaya Pemeliharaan." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014.
- [8] M. Hartono and I. Mas'udin, "Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Markov Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan," *J. Oprimumm*, vol. 3, no. 2, pp. 173–184, 2002.
- [9] Erawan, *Dasar - Dasar PHP*. Universitas Dian Nuswantoro Semarang, 2014.
- [10] A. Y. Suparman, *Overhaul berbasis 5S*. PT PJB, 2014.
- [11] C. Anwar, L. Fasi Ashari, and Indrayenti, "Harga Pokok Produksi dalam Kaitannya dengan Penentuan Harga Jual untuk Pencapaian Target Laba Analisis (Studi kasus pada

PT. Indra Brother's di Bandar Lampung)," *J. Akunt. Keuang.*, vol. 1, no. 1, pp. 79–94, Sep. 2010.

- [12] Oktaviyani, "Optimasi Penjadwalan Produksi dan Perencanaan Persediaan Bahan Baku Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus Kinken Cake & Bakery Kutoarjo)." 2017.
- [13] Syafruddin, Irma, and Sukarna, "Aplikasi Analisis Rantai Markov untuk Memprediksi Status Pasien Rumah Sakit Umum Daerah Kabupaten Barru," *Online J. Nat. Sci.*, vol. 3, no. 3, Desember 2014.
- [14] N. Erni and B. Wijaya, "Usulan Penerapan Teori Markov Dalam Pengambilan Keputusan Perawatan Tahunan Pada PT.Pupuk Kujang," *J. Inovisi*, vol. 7, no. 1, pp. 56–63, Oktober 2011.
- [15] Anonymous, *Maintenance Planning, Scheduling & Controlling*. PT PJB Academy, 2015.

Conflict of Interest Statement: The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2021 Author [s]. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Received: 2021-01-30
Accepted: 2021-02-06
Published: 2021-04-01

DAFTAR TABEL

I	Siklus Pemeliharaan Besar (Overhaul).....	78
II	Usulan Status Unit.....	79
III	Rekapitulasi Perubahan Status Pembangkit PLTA Ampelgading Unit 1 Saat Dilukan Kebijakan 1	80
IV	Rekapitulasi perubahan status pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2.....	81
V	Rekapitulasi produksi pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 1	82
VI	Rekapitulasi produksi pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2	83
VII	Tabel perbandingan produksi hasil perhitungan.....	84
VIII	Perbandingan Capaian Biaya Pokok Penyediaan Markov vs Capaian Biaya Pokok Penyediaan Aktual.....	85

Table I. Siklus Pemeliharaan Besar (Overhaul)

UNIT	SIKLUS 1				SIKLUS 2				SIKLUS 3				SIKLUS 4					
PLTU	SI	ME	SI	SE														
PLTG	CI	HGPI	CI	MI														
PLTGU	CI	TI	CI	MI														
PLTGU	TC/TA		TB/TA															
PLTD	TO	SO	TO	MO														
PLTA	AI	AI	GI	AI	AI	MO	AI	AI	GI	AI	AI	MO	AI	AI	GI	AI	AI	MO

Table II. Usulan Status Unit

Status	Status
1	Baik: Jika Status unit pembangkit dapat mencapai seluruh target kinerja operasi baik produksi, penjualan, <i>Equivalent Availability Factor</i> (EAF), <i>Equivalent Forced Outage Rate</i> (EFOR), <i>Scheduled Outage Factor</i> (SOF), <i>Sudden Outage Factor</i> (SdOF) maupun air limbah.
2	Sedang: Terdapat target kinerja operasi yang tidak tercapai (<i>Equivalent Availability Factor</i> (EAF), <i>Equivalent Forced Outage Rate</i> (EFOR), <i>Scheduled Outage Factor</i> (SOF), <i>Sudden Outage Factor</i> (SdOF)) tetapi target produksi tetap tercapai.
3	Berat: Jika Target kinerja operasi unit tidak tercapai dan target produksi tidak tercapai karena gangguan unit pembangkit.

Table III. Rekapitulasi Perubahan Status Pembangkit PLTA Ampelgading Unit 1 Saat Dilukan Kebijakan 1

	Status awal (jumlah bulan)				
		Baik	Sedang	Berat	Jumlah
Status berikutnya (jumlah bulan)	Baik	11	6	0	17
	Sedang	6	3	0	9
	Berat	0	0	0	0
	Jumlah	17	9	0	26

Table IV. Rekapitulasi perubahan status pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2

		Status awal (jumlah bulan)			
Status berikutnya (jumlah bulan)		Baik	Sedang	Berat	Jumlah
	Baik	4	7	0	11
	Sedang	7	8	0	15
	Berat	0	0	0	0
	Jumlah	11	15	0	26

Table V. Rekapitulasi produksi pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 1

		Status awal (KWh)		
		Baik	Sedang	Berat
Status berikutnya (KWh)	Baik	12.470.375	12.440.225	12.410.074
	Sedang	0	12.425.149	12.425.149
	Berat	0	0	12.334,697

Table VI. Rekapitulasi produksi pembangkit PLTA Ampelgading unit 1 saat dilakukan kebijakan 2

		Status awal (KWh)		
Status berikutnya (KWh)		Baik	Sedang	Berat
	Baik	12.545.752	12.545.752	12.545.752
	Sedang	12.169.380	11.918.465	11.918.465
	Berat	10.036.602	11.291.177	10.036.602

Table VII. Tabel perbandingan produksi hasil perhitungan

No	Unit	Produksi Markov (GWh) A	Produksi 2019 (GWh) B	Produksi 2018 (GWh) C	Produksi 2017 (GWh) (D)
1	Ampelgading	36	25	30	33
2	Giringan	14	10	12	15
3	Golang	13	9	11	14
4	Lodoyo	38	34	37	38
5	Mendalan	75	76	78	79
6	Ngebel	13	8	9	13
7	Selorejo	30	22	26	30
8	Sengguruh	79	66	75	97
9	Siman	46	52	56	44
10	Sutami	572	410	486	589
11	Tulungagung	155	87	117	155
12	Wlingi	193	129	154	200
13	Wonorejo	33	17	19	31
TOTAL		1.303	951	1.114	1.303

Table VIII. Perbandingan Capaian Biaya Pokok Penyediaan Markov vs Capaian Biaya Pokok Penyediaan Aktual

Unit	BPP Markov (Rp/KWh)	BPP 2019 (Rp/KWh)	BPP 2018 (Rp/KWh)	BPP 2017 (Rp/KWh)
Ampelgading	352	269	357	392
Giringan	780	738	633	768
Golang	745	615	504	712
Lodoyo	382	274	388	384
Mendalan	583	479	541	576
Ngebel	634	973	651	644
Selorejo	388	377	505	392
Sengguruh	574	360	720	480
Siman	564	320	365	592
Sutami	293	323	294	283
Tulungagung	481	619	512	487
Wlingi	366	457	409	360
Wonorejo	392	580	458	413

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram Alir Perancangan Program.....	87
2	Tampilan <i>Script</i> Data Uji Ekstensi *.CSV pada Notepad	87
3	Tampilan Matrix Yang Akan Dihitung	88
4	Tampilan Hasil Perhitungan Markov 2 <i>Stages</i>	88
5	Grafik Perbandingan Produksi dan BPP PLTA 2017, 2018, 2019 dan Markov	88

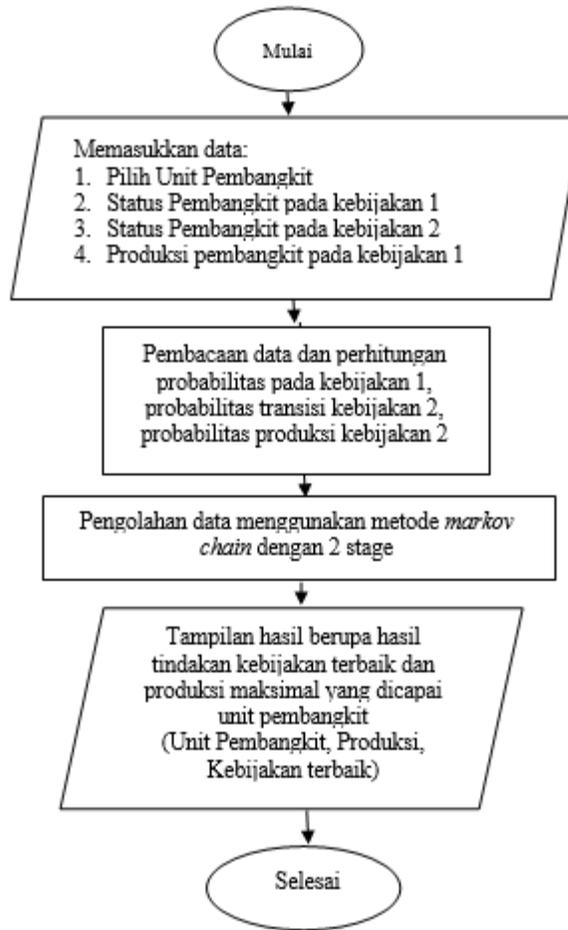


Figure 1. Diagram Alir Perancangan Program

```

    Probabilitas_Status - Notepad
    File Edit Format View Help
    17;0.866666667;0.133333333;0;0.181818182;0.818181818;0;0;0;Data Aktual
    18;0.916666667;0.083333333;0;1;0;0;0;0;Data Aktual
    19;1;0;0;0;0.857142857;0.142857143;0.5;0.5;0;Data Aktual
    20;0.916666667;0.083333333;0;1;0;0;0;0;Data Aktual
    21;1;0;0;0;0;0;0;0;0;Data Aktual
    22;1;0;0;0.25;0.75;0;0;0;0;Data Aktual
    23;1;0;0;0;0;0;0;0;0;Data Aktual
    24;0.96;0.04;0;1;0;0;0;0;0;Data Aktual
    25;0.909090909;0.090909091;0;0.5;0.5;0;0;0;Data Aktual
    26;1;0;0;0;0;0;0;0;0;Data Aktual
    27;0.958333333;0.041666667;0;0.5;0.5;0;0;0;Data Aktual
    28;0.863636364;0.136363636;0;0.75;0.25;0;0;0;Data Aktual
    1;0.363636364;0.636363636;0;0.466666667;0.533333333;0;0;0;Data Pembanding
    2;0.5;0.5;0.222222222;0.777777778;0;0;0;0;Data Pembanding
    3;0.75;0.1875;0.0625;0.444444444;0.555555556;0;0;1;0;Data Pembanding
    4;0.833333333;0.166666667;0;0.111111111;0.833333333;0.055555556;0;0.5;0.5;Data
    Pembanding
    5;0.75;0.1875;0.0625;0.444444444;0.555555556;0;0;1;0;Data Pembanding
    6;0.933333333;0.066666667;0;0;0;0;0;0;0;Data Pembanding
    7;0.857142857;0.142857143;0;0.166666667;0.833333333;0;0;0;Data Pembanding
    8;0.933333333;0.066666667;0;0;0;0;0;0;0;Data Pembanding
    9;0.454545455;0.545454545;0;0.333333333;0.666666667;0;0;0;Data Pembanding
    10;0.923076923;0.076923077;0.153846154;0.846153846;0;0;0;0;Data Pembanding
    11;0.857142857;0.142857143;0;0.166666667;0.833333333;0;0;0;Data Pembanding
    12;0.933333333;0.066666667;0;0.090909091;0.909090909;0;0;0;Data Pembanding
    13;0.933333333;0.066666667;0;0;0;0;0;0;0;Data Pembanding
    14;0.916666667;0.083333333;0.142857143;0.857142857;0;0;0;0;Data Pembanding
    15;0.823529412;0.176470588;0.375;0.625;0;0;0;0;Data Pembanding
    16;0.5;0.5;0.3125;0.6875;0;0;0;0;Data Pembanding
    
```

Figure 2. Tampilan Script Data Uji Ekstensi *.CSV pada Notepad

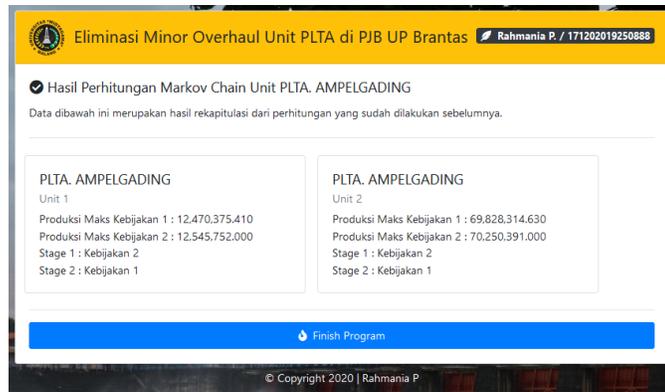


Figure 3. Tampilan Matrix Yang Akan Dihitung

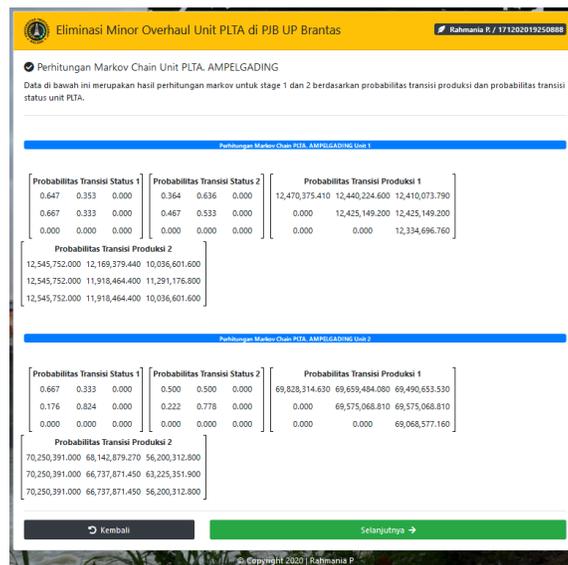


Figure 4. Tampilan Hasil Perhitungan Markov 2 Stages

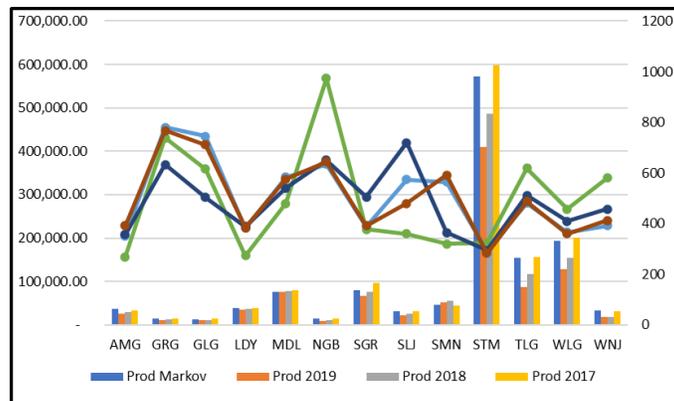


Figure 5. Grafik Perbandingan Produksi dan BPP PLTA 2017, 2018, 2019 dan Markov