

Contents list available at [www.jurnal.unimed.ac.id](http://www.jurnal.unimed.ac.id)

**CESS**  
**(Journal of Computing Engineering, System and Science)**

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



**Pemilihan Prioritas *Early Retirement Coal Fired Power Plant* Dengan  
Menggunakan Metode AHP PROMETHEE**

***Priority Selection of Early Retirement Coal Fired Power Plant Using the AHP  
PROMETHEE Method***

Anisa Yulia Sarma<sup>1</sup>, A.A. B. Dinariyana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Inovasi Sistem dan Teknologi, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,  
Surabaya

Email: <sup>1</sup>[anisa.yuliasarma@gmail.com](mailto:anisa.yuliasarma@gmail.com), <sup>2</sup>[kojex@its.ac.id](mailto:kojex@its.ac.id)

**ABSTRAK**

Pembangkit dari Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara disebut juga *Coal Fired Power Plant* (CFPP) menyumbang cukup tinggi nilai emisi karbon. Salah satu upaya menekan emisi karbon dilakukan melalui *early retirement* PLTU yang sejalan dengan target pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060. *Early retirement* direncanakan dalam RUPTL 2021-2030, sehingga perlu dipersiapkan PLTU mana saja yang akan dipilih. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan urutan prioritas PLTU yang akan dipilih pada sistem ketenagalistrikan Jawa Bali dengan menggunakan *Metode Multi Criteria Decision Making* (MCDM) melalui kombinasi *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE). Kombinasi metode ini digunakan untuk pengambilan keputusan atas alternatif PLTU menggunakan multi kriteria dengan melibatkan para ahli dalam proses pembobotannya. Kriteria utama yang digunakan adalah kriteria teknis, ekonomi dan lingkungan dengan sub kriteria usia, kapasitas, *capacity factor*, efisiensi, harga jual, potensi biaya *buy out*, emisi CO<sub>2</sub> dan pengaruh polusi udara. Hasil penelitian ini menempatkan kriteria usia menduduki persentase pembobotan tertinggi sekitar 30%, namun tidak serta merta menjadikan PLTU dengan usia tertua menjadi urutan pertama karena proses outranking dilakukan secara menyeluruh berdasarkan nilai *net flow* yang dihasilkan. Perankingan menghasilkan PLTU PEC 3, PLTU Suralaya 8, PLTU Cilacap 3, PLTU Paiton 9 dan terakhir PLTU Adipala 5. Hasil urutan prioritas dengan metode ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi bagi pemangku kepentingan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan prioritas PLTU yang akan dilakukan *early retirement*.

**Kata Kunci:** AHP, CFPP, *Early Retirement*, MCDM, PROMETHEE.

\*Penulis Korespondensi:  
email: [anisa.yuliasarma@gmail.com](mailto:anisa.yuliasarma@gmail.com)

**ABSTRACT**

The Coal Fired Power Plant (CFPP) provides quite high carbon emissions. One effort to reduce carbon emissions is through early retirement of CFPP which is in line with achieving the Net Zero Emission (NZE) target by 2060. Early retirement is planned in the 2021-2030 RUPTL, so it is necessary to prepare which PCFPP will be chosen. This research aims to determine the priority order of CFPP that will be selected in the Java Bali electricity system using the Multi Criteria Decision Making (MCDM) Method through a combination of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE). This combination of methods is used to make decisions on CFPP alternatives using multiple criteria by involving experts in the weighting process. The main criteria used are technical, economic and environmental criteria with sub-criteria of age, capacity, capacity factor, efficiency, selling price, potential purchase costs, CO<sub>2</sub> emissions and the effect of air pollution. The results of this research place the age criterion in the highest weighting percentage at around 30%, but this does not necessarily mean that the CFPP with the oldest age is in first place because the outranking is carried out comprehensively based on the resulting net flow value. Ranking produced PEC 3 CFPP, Suralaya 8 CFPP, Cilacap 3 CFPP, Paiton 9 CFPP and finally Adipala 5 CFPP. The results of the priority order using this method can be used as a reference for stakeholders in making decisions to determine priorities for CFPP that will undergo early retirement.

**Keywords:** AHP, CFPP, Early Retirement, MCDM, PROMETHEE.

---

**1. PENDAHULUAN**

Perubahan iklim sudah menjadi isu global yang mendapat banyak perhatian dari berbagai negara di dunia. *Paris Agreement* menetapkan kerangka kerja untuk menghindari perubahan iklim yang berbahaya dengan membatasi pemanasan global di bawah 2°C dan melakukan upaya untuk membatasinya hingga 1,5°C. Sejalan dengan hal tersebut, Indonesia menargetkan *Net Zero Emission* (NZE) akan dicapai pada tahun 2060. Dalam upaya menuju pencapaian target ini, Indonesia menyusun Peta Jalan Transisi Energi Indonesia yang dimulai sejak tahun 2021 sampai dengan tahun 2060 melalui beberapa langkah secara bertahap. Salah satu langkah yang diambil adalah *retirement* PLTU yang akan dimulai sejak tahun 2031.

Sejalan dengan peta jalan transisi energi tersebut, Pemerintah juga telah mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, dimana salah satu upayanya adalah melalui percepatan pengakhiran (*early retirement*) masa operasional PLTU. Di dalam Perpres tersebut disebutkan bahwa Menteri akan menetapkan daftar PLTU yang akan dicantumkan dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) untuk dilakukan *early retirement* dengan kriteria-kriteria antara lain: kapasitas, usia pembangkit, utilisasi, emisi gas rumah kaca (GRK) PLTU, nilai tambah ekonomi, ketersediaan dukungan pendanaan dalam dan luar negeri, dan ketersediaan dukungan teknologi dalam dan luar negeri [1].

Pemodelan jalur penghapusan batu bara menuju 1,5°C dilakukan dengan salah satu cara yaitu melalui *retirement* pembangkit [2]. *Retirement* pembangkit menggunakan istilah "*oldest-first*", dimana pembangkit tua akan diprioritaskan pertama sampai ke pembangkit yang termuda. Penutupan pembangkit listrik di Amerika Serikat menunjukkan bahwa pembangkit

listrik yang rentan untuk dilakukan *early retirement* cenderung lebih tua dan berkapasitas lebih kecil [3]. Pembangkit listrik untuk *early retirement* adalah pembangkit yang sudah tua, tidak efisien dan kurang dimanfaatkan [4].

Identifikasi *early retirement* pada PLTU dilakukan berdasarkan tiga kriteria yaitu usia pembangkit, emisi karbon dan potensi polusi udara yang ditimbulkan oleh pembangkit [5]. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil yang kontras dengan pendekatan yang umum digunakan sehingga prioritas pensiun pembangkit tidak hanya didasarkan pada pembangkit yang lebih tua. Terdapat faktor selain usia yang memainkan peran penting dalam intensitas emisi yang ditimbulkan oleh pembangkit.

Mempertimbangkan kriteria multidisiplin yang lebih komprehensif dan mencakup kriteria teknis, ekonomi dan dampak lingkungan [6] juga dilakukan untuk mencapai target penghentian pembangkit batu bara di China melalui *early retirement*. Subkriteria pada kriteria teknis terdiri dari usia pembangkit, kapasitas pembangkit, teknologi pembakaran pembangkit dan kegunaan dari pembangkit. Kriteria ekonomi hanya memiliki satu subkriteria yang digunakan yaitu keuntungan kotor tahunan pembangkit. Sementara tingkat emisi CO<sub>2</sub>, polusi udara lokal dan dampak terhadap air menjadi subkriteria dari kriteria dampak lingkungan.

Studi terbaru dalam mengidentifikasi pembangkit batu bara untuk *early retirement* di India dilakukan berdasarkan kriteria yang lebih komprehensif [7], tidak hanya berdasarkan kriteria teknis seperti usia, kapasitas dan *heat rate*. Kriteria utama teknis dan ekonomi terdiri dari empat subkriteria yaitu usia, biaya operasional variabel, efisiensi pembangkit dan jarak pembangkit ke sumber batu bara. Sedangkan kriteria dampak lingkungan terdiri dari tiga subkriteria yaitu paparan populasi terhadap emisi pembangkit, faktor emisi karbon serta tingkat tekanan air.

Komposisi pembangkit di Indonesia didominasi oleh pembangkit berbahan bakar batu bara dengan proporsi di atas 50% total kapasitas nasional, diikuti oleh gas sekitar 28% dan Energi Baru Terbarukan (EBT) sekitar 15%. Dari seluruh kapasitas pembangkit di Jawa, realisasi bauran energi tahun 2022 menunjukkan bahwa 77% porsi bauran energi dikontribusi oleh PLTU. Hal ini yang melatarbelakangi penelitian ini dilakukan di Jawa, dimana dengan sedemikian besar PLTU di Jawa maka perlu penelitian lebih intensif yang berhubungan dengan rencana *early retirement*.

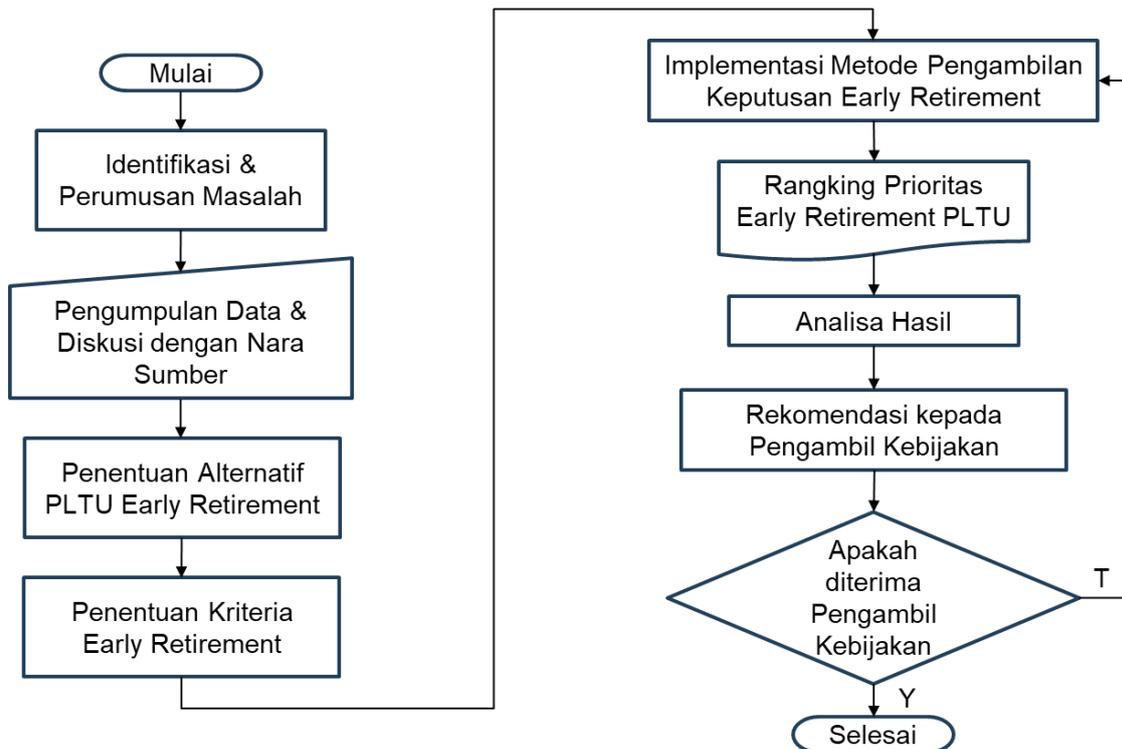
Pemilihan prioritas *early retirement* PLTU dilakukan dengan pendekatan akademik menggunakan metode MCDM dengan kombinasi AHP PROMETHEE. AHP akan digunakan untuk menentukan bobot kriteria, sedangkan PROMETHEE akan digunakan untuk proses ranking. Hasil penelitian berupa daftar urutan prioritas *early retirement* PLTU diharapkan dapat menjadi referensi ataupun rekomendasi yang akan digunakan oleh pemegang kebijakan dalam pengambilan keputusan untuk menetapkan urutan PLTU yang akan dilakukan *early retirement* terlebih dahulu.

Penelitian terkait *early retirement* di Indonesia belum banyak dilakukan, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi bagi siapa saja yang melakukan penelitian maupun pengembangan lebih lanjut dalam mengidentifikasi dan mengeksekusi *early retirement* PLTU, khususnya di pulau Jawa, Indonesia.

## 2. METODOLOGI

Sistematika penelitian yang dilakukan pada penelitian ini diawali dengan studi literatur atas topik utama yang dipilih terkait *early retirement*. Dari beberapa studi literatur yang

membahas *early retirement*, didapatkan referensi atas beberapa kriteria yang digunakan dalam melakukan penentuan *early retirement*. Selain terkait kriteria, juga dipelajari studi literatur berkaitan dengan metode pengambilan keputusan yang banyak dipergunakan khususnya pada penelitian kebijakan energi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 1 berikut ini.



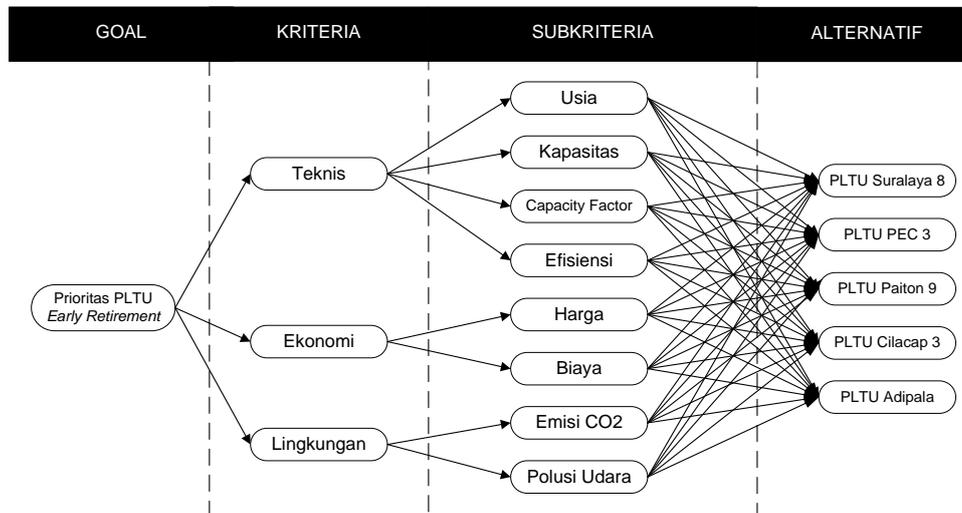
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber data antara lain diperoleh dari pengisian kuesioner oleh beberapa ahli dalam bidangnya, data operasional pembangkit, perhitungan beberapa penilaian yang dibutuhkan seperti potensi *buy out* dan perkiraan Emisi CO<sub>2</sub> [8] serta data indeks kualitas udara (IKU) dari publikasi data kinerja Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan [9]. Dari keseluruhan data yang terhimpun selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi AHP PROMETHEE. Pada metode AHP dilakukan penetapan tujuan, kriteria atau multi kriteria dan alternatif. Pada penelitian ini menggunakan multi kriteria dengan kriteria utama adalah kriteria teknis dengan subkriteria usia, kapasitas, *capacity factor* dan efisiensi (*heat rate*). Kriteria ekonomi dengan subkriteria harga jual dan potensi biaya *buy out*. Sedangkan kriteria dampak lingkungan dengan subkriteria rata-rata emisi CO<sub>2</sub> dan pengaruh polusi udara sekitar PLTU atau IKU.

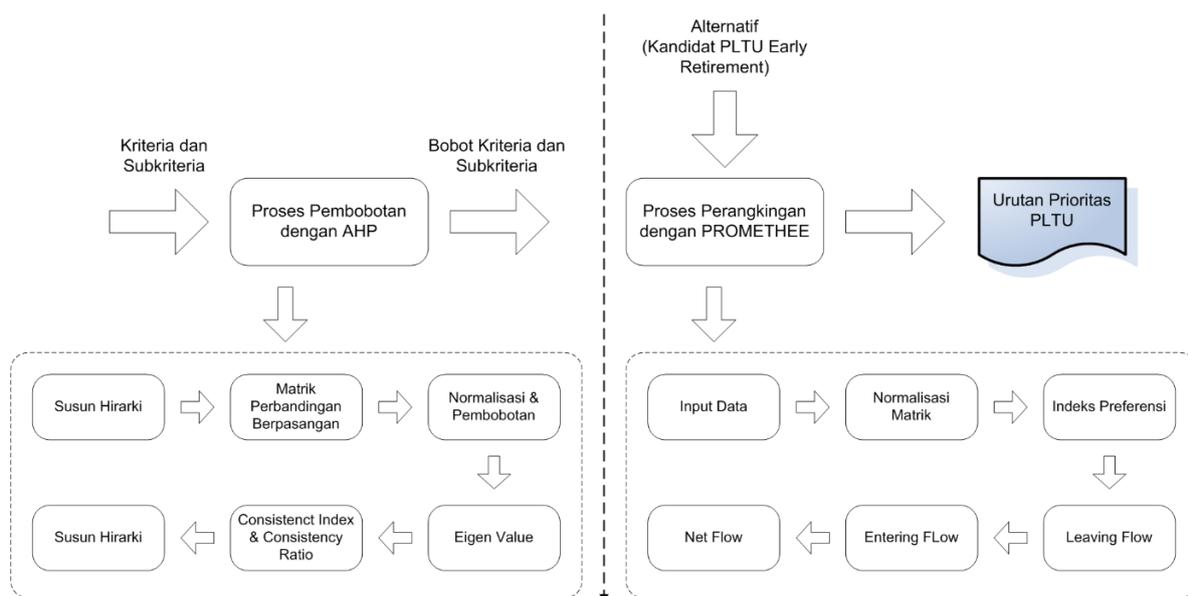
Penelitian ini dilakukan terhadap beberapa PLTU di Jawa yang telah dianalisis terlebih dahulu. Analisis dilakukan berdasarkan kelayakannya dengan mempertimbangan keandalan sistem ketenagalistrikan Jawa Madura Bali (Jamali). Antara lain bahwa yang menjadi kandidat atau alternatif adalah PLTU yang terhubung pada titik interkoneksi 500 kV, serta beberapa syarat pendukung lainnya. Dari 5 kandidat PLTU yang ditentukan sebagai alternatif, kriteria

dan subkriteria yang telah dipilih, selanjutnya dilakukan penggambaran hirarki metode pengambilan keputusan AHP PROMETHEE seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Struktur Hirarki AHP PROMETHEE Penelitian

Adapun kerangka berpikir metode AHP PROMETHEE yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut. Proses pembobotan menggunakan AHP diawali dengan proses penyusunan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*), dilakukan normalisasi dan pembobotan kriteria, melakukan penilaian konsistensi melalui perhitungan *Eigen Value* ( $\lambda$ ), *Consistency Index* (CI), *Random Index* (IR) dan *Consistency Ratio* (CR) [10]. Hasil Pembobotan Saaty dan data operasional akan digunakan untuk proses ranking alternatif dengan menggunakan metode PROMETHEE [11]. Proses outranking dimulai dengan normalisasi matrik evaluasi, perhitungan indeks preferensi dan perhitungan *Leaving flow*, *Entering flow* serta *Net Flow*. Tahapan dengan metode PROMETHEE merupakan tahapan perankingan untuk seluruh alternatif yang dipilih sehingga didapatkan prioritas PLTU yang akan dipilih untuk *early retirement*.



Gambar 3. Kerangka Berpikir AHP PROMETHEE

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil evaluasi dari 27 PLTU di sistem Jamali, didapatkan 5 PLTU yang menjadi kandidat atau alternatif untuk dilakukan *early retirement* seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kandidat PLTU *Early Retirement*

Nama Pembangkit	Lokasi Kab/Kota	Tegangan Titik Koneksi (kV)	Daya Mampu (MW)	Tahun Akhir Kontrak	Usia (th)	Sisa Tahun Kontrak pada 2031
PLTU Suralaya 8	Cilegon	500	540	2041	12	11
PLTU PEC 3	Probolinggo	500	813	2042	11	11
PLTU Paiton 9	Probolinggo	500	615	2042	11	11
PLTU Cilacap 3	Cilacap	500	614	2046	7	15
PLTU Adipala	Cilacap	500	615	2046	7	15

Penelitian ini menyebarkan kuesioner pada beberapa responden yang dipilih berdasarkan kebutuhan atas kemampuan para responden memberikan justifikasi tingkat kepentingan dari kriteria dan subkriteria yang telah ditentukan. Proses pembobotan menggunakan AHP diawali dengan proses penyusunan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*), dilakukan normalisasi dan pembobotan kriteria, penilaian konsistensi melalui perhitungan *Eigen Value* ( $\lambda$ ), *Consistency Index* (CI), *Random Index* (IR) dan *Consistency Ratio* (CR). Perhitungan ini dilakukan pada seluruh data yang telah diisikan oleh setiap responden. Dari keseluruhan pembobotan kriteria dan subkriteria yang didapat, selanjutnya dihitung bobot yang menghasilkan nilai pembobotan keseluruhan seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pembobotan Keseluruhan

Kriteria	Subkriteria	Bobot Keseluruhan	Bobot Kriteria	Bobot Subkriteria	Bobot Keseluruhan	Persentase
Teknis	Usia	Teknis x Usia		0,481	0,297	30%
	Kapasitas	Teknis x Kapasitas	0,618	0,269	0,166	17%
	Efisiensi	Teknis x Efisiensi		0,176	0,108	11%
	CF	Teknis x CF		0,074	0,046	5%
Ekonomi	Harga	Ekonomi x Harga	0,255	0,753	0,192	19%
	Biaya	Ekonomi x Biaya		0,248	0,063	6%
Lingkungan	Emisi CO <sub>2</sub>	Lingkungan x Emisi CO <sub>2</sub>	0,127	0,650	0,083	8%
	Polusi Udara	Lingkungan x Polusi Udara		0,350	0,045	4%

Hasil pembobotan yang telah didapatkan dari metode AHP, selanjutnya akan digabungkan dengan penilaian yang didapatkan dari data operasional dan data perhitungan ataupun data sumber yang akan digunakan untuk proses ranking alternatif dengan menggunakan metode PROMETHEE. Proses outranking dimulai dengan normalisasi matriks, perhitungan nilai preferensi, perhitungan indeks preferensi dan perhitungan *Leaving flow*,

Entering flow serta Net Flow. Tabel 3 berikut ini menunjukkan hasil penilaian yang telah dilakukan untuk seluruh data subkriteria terhadap seluruh alternatif.

Tabel 3. Penilaian Pada Seluruh Subkriteria Dan Alternatif

Alternatif / Kriteria	Usia tahun n	Kapasit as MW	Efisiensi Kcal/kWh	CF %	Harga Rp/kWh	Biaya Milyar Rp	Emisi CO <sub>2</sub> Juta Ton	Deviasi IKU
Bobot	0,297	0,166	0,108	0,046	0,192	0,063	0,083	0,045
PLTU Suralaya 8	12	540	3.285,69	55,36	774,60	3.502	43,14	8,91
PLTU PEC 3	11	813	2.399,01	72,18	1.036,02	10.866	71,45	1,48
PLTU Paiton 9	11	615	2.674,01	72,44	676,41	3.475	54,05	1,48
PLTU Cilacap 3	7	614	2.537,29	60,02	1.153,05	10.047	73,58	8,72
PLTU Adipala	7	615	2.606,54	71,06	803,76	3.265	73,70	8,72

Proses outranking dilakukan secara bertahap dengan langkah awal melakukan normalisasi matriks. Normalisasi matrik harus memperhatikan kategori maksimum atau minimum pada setiap subkriteria. Normalisasi untuk kategori maksimum menggunakan persamaan (1) dengan mengurangi nilai pada setiap subkriteria alternatif dengan nilai minimalnya, dibandingkan dengan selisih nilai maksimum dan minimum. Berikut merupakan contoh perhitungan normalisasi matrik untuk kriteria maksimum pada subkriteria usia dan untuk kriteria minimum pada subkriteria usia pembangkit.

$$R_{ij} = \frac{[X_{ij} - \min(X_{ij})]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]} \mid (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

$$R_{11} = \frac{[12 - 7]}{[12 - 7]} = 1; R_{21} = \frac{[11 - 7]}{[12 - 7]} = 0,8; R_{31} = \frac{[11 - 7]}{[12 - 7]} = 0,8; R_{41} = \frac{[7 - 7]}{[12 - 7]} = 0; \text{dst}$$

Sedangkan untuk kategori minimum menggunakan persamaan (2) dengan mengurangi nilai maksimum pada setiap subkriteria alternatif dengan nilai pada setiap subkriteria alternatif dan dibandingkan dengan selisih nilai maksimum dan minimum.

$$R_{ij} = \frac{[\max(X_{ij}) - X_{ij}]}{[\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]} \mid (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

$$R_{14} = \frac{[72,44 - 55,3]}{[72,44 - 55,3]} = 1; R_{24} = \frac{[72,44 - 72,18]}{[72,44 - 55,36]} = 0,015; R_{34} = \frac{[72,44 - 72,44]}{[72,44 - 55,36]} = 0; \text{dst}$$

Dengan melakukan langkah yang sama, dilakukan perhitungan untuk masing-masing subkriteria seluruhnya dengan kategori maksimum maupun minimum. Hal ini dilakukan agar nilai-nilai yang memiliki skala berbeda menjadi memiliki nilai baru dengan skala bobot sama minimal 0 (nol) dan maksimal 1 (satu). Normalisasi matriks yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Normalisasi Matriks

Alternatif / Kriteria	Usia	Kapasitas	Efisiensi	CF	Harga	Biaya	Emisi CO <sub>2</sub>	Deviasi IKU
PLTU Suralaya 8	1	0	1	1	0,206	1	0	1
PLTU PEC 3	0,8	1	0	0,015	0,754	0,057	0,926	0
PLTU Paiton 9	0,8	0,275	0,310	0	0	0,986	0,357	0
PLTU Cilacap 3	0	0,271	0,156	0,727	1	0	0,996	0,974
PLTU Adipala	0	0,275	0,234	0,081	0,267	0,960	1	0,974

Setelah didapatkan matrik normalisasi, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai preferensi untuk setiap alternatif pembangkit terhadap pembangkit lainnya. Dengan menggunakan tipe preferensi umum, dimana tipe ini tidak memiliki nilai *threshold* atau kecenderungan, maka nilai preferensi dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

$$P(x) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ P(x), & d > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Pada tipe ini, apabila antara alternatif a dan alternatif b memiliki nilai kriteria lebih rendah atau sama dengan nol, maka, maka nilai preferensinya bernilai 0 (nol) atau  $P(x) = 0$ . Jika nilai selisih memiliki nilai yang lebih besar dari nol, maka nilai preferensi dari pembuat keputusan meningkat mengikuti besaran nilai x untuk alternatif yang memiliki nilai lebih baik.

Sebagai contoh, perhitungan perbedaan evaluatif antara A1 dan A2 pada sub kriteria usia didapatkan selisih 0,2. Dengan mengikuti ketentuan pada persamaan (3), karena hasil perbedaan A1 dan A2 > 0, maka 0,2 adalah nilai preferensi antara A1-A2. Contoh berikutnya untuk perbedaan evaluatif antara A2 dan A1 didapatkan selisih -0,2, sehingga dengan mengikuti ketentuan pada persamaan (3) dimana hasil selisih adalah  $\leq 0$  maka nilai preferensi untuk A2-A1 adalah 0. Perhitungan ini dilakukan pada seluruh subkriteria terhadap masing-masing perbandingan alternatif. Sehingga didapatkan ringkasan nilai preferensi seperti ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Ringkasan Nilai Preferensi

Alternatif / Kriteria	Usia tahun	Kapasitas MW	Efisiensi Kcal/kWh	CF %	Harga Rp/kWh	Biaya Milyar Rp	Emisi CO <sub>2</sub> Juta Ton	Deviasi IKU
Bobot	0,297	0,166	0,108	0,046	0,192	0,063	0,083	0,045
P(A1-A2)	0.2	0	1	0.985	0	0.943	0	1
P(A1-A3)	0.2	0	0.690	1	0.206	0.014	0	1
P(A1-A4)	1	0	0.844	0.273	0	1	0	0.026
P(A1-A5)	1	0	0.766	0.919	0	0.040	0	0.026
P(A2-A1)	0	1	0	0	0.548	0	0.926	0
P(A2-A3)	0	0.725	0	0.015	0.754	0	0.569	0
P(A2-A4)	0.8	0.729	0	0	0	0.057	0	0
P(A2-A5)	0.8	0.725	0	0	0.487	0	0	0
P(A3-A1)	0	0.275	0	0	0	0	0.357	0

P(A3-A2)	0	0	0.310	0	0	0.929	0	0
P(A3-A4)	0.8	0.004	0.154	0	0	0.986	0	0
P(A3-A5)	0.8	0	0.076	0	0	0.026	0	0
P(A4-A1)	0	0.271	0	0	0.794	0	0.996	0
P(A4-A2)	0	0	0.156	0.712	0.246	0	0.070	0.974
P(A4-A3)	0	0	0	0.727	1	0	0.639	0.974
P(A4-A5)	0	0	0	0.646	0.733	0	0	0
P(A5-A1)	0	0.275	0	0	0.061	0	1	0
P(A5-A2)	0	0	0.234	0.066	0	0.903	0.074	0.974
P(A5-A3)	0	0	0	0.081	0.267	0	0.643	0.974
P(A5-A4)	0	0.004	0.078	0	0	0.960	0.004	0

Dari perhitungan nilai preferensi setiap perbandingan alternatif yang telah dihasilkan, selanjutnya akan dilakukan perhitungan indeks nilai preferensi menggunakan persamaan (4) dengan mengalikan masing-masing nilai preferensi terhadap masing-masing bobot keseluruhan setiap subkriteria yang telah dilakukan pada proses AHP sebelumnya. Contoh perhitungan indeks nilai preferensi untuk alternatif A1 terhadap A2 adalah sebagai berikut.

$$\varphi(a, b) = \sum_{i=1}^n \pi_i P_i(a, b): \forall a, b \in A \tag{4}$$

$$\begin{aligned} P(A1 - A2) &= (0,297 \times 0,2) + (0,166 \times 0) + (0,108 \times 1) + (0,046 \times 0,985) \\ &+ (0,192 \times 0) + (0,063 \times 0,943) + (0,083 \times 0) + (0,045 \times 1) \\ &= 0,059 + 0 + 0,108 + 0,045 + 0 + 0,060 + 0 + 0,045 = 0,317 \end{aligned}$$

Dengan melakukan langkah yang sama seperti contoh perhitungan yang sudah dilakukan di atas, akan didapatkan hasil ringkasan indeks preferensi untuk seluruh subkriteria terhadap masing-masing alternatif seperti dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Ringkasan Indeks Preferensi

Alternatif / Kriteria	Usia Tahun	Kapasitas MW	Efisiensi Kcal/kWh	CF %	Harga Rp/kWh	Biaya Milyar Rp	Emisi CO <sub>2</sub> Juta Ton	IKU	Indeks Preferensi
Bobot	0,297	0,166	0,108	0,046	0,192	0,063	0,083	0,045	-
P(A1-A2)	0.059	0	0.108	0.045	0	0.060	0	0.045	0.317
P(A1-A3)	0.059	0	0.075	0.046	0.040	0.001	0	0.045	0.265
P(A1-A4)	0.297	0	0.092	0.012	0	0.063	0	0.001	0.466
P(A1-A5)	0.297	0	0.083	0.042	0	0.003	0	0.001	0.426
P(A2-A1)	0	0.166	0	0	0.105	0	0.077	0	0.348
P(A2-A3)	0	0.121	0	0.001	0.145	0	0.047	0	0.313
P(A2-A4)	0.238	0.121	0	0	0	0.004	0	0	0.365
P(A2-A5)	0.238	0.121	0	0	0.094	0	0	0	0.452
P(A3-A1)	0	0.046	0	0	0	0.000	0.029	0	0.075
P(A3-A2)	0	0	0.034	0	0	0.059	0	0	0.092

P(A3-A4)	0.238	0.001	0.017	0	0	0.062	0	0	0.317
P(A3-A5)	0.238	0	0.008	0	0	0.002	0	0	0.248
P(A4-A1)	0	0.045	0	0	0.152	0	0.082	0	0.280
P(A4-A2)	0	0	0.017	0.032	0.047	0	0.006	0.043	0.146
P(A4-A3)	0	0	0	0.033	0.192	0	0.053	0.043	0.321
P(A4-A5)	0	0	0	0.030	0.141	0	0	0	0.170
P(A5-A1)	0	0.046	0	0	0.012	0.000	0.083	0	0.140
P(A5-A2)	0	0	0.025	0.003	0	0.057	0.006	0.043	0.135
P(A5-A3)	0	0	0	0.004	0.051	0.000	0.053	0.043	0.152
P(A5-A4)	0	0.001	0.008	0	0	0.061	0	0	0.070

Perhitungan *leaving flow* dan *entering flow* dilakukan untuk mendapatkan nilai positif dan negatif outranking yang bertujuan mengetahui alternatif terbaik. *Leaving flow* mencerminkan kelebihan (*strength*), sedangkan *entering flow* mencerminkan kekurangan (*weakness*) antara satu alternatif terhadap alternatif lainnya. Perhitungan *leaving flow* menggunakan persamaan (5) dengan melakukan penjumlahan seluruh nilai indeks preferensi pada perbandingan satu alternatif terhadap alternatif lainnya dibagi dengan total alternatif dikurangi satu. Berikut merupakan contoh perhitungan *Leaving flow* alternatif A1 menggunakan persamaan berikut.

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \varphi(a, b): (a \neq b) \tag{5}$$

$$\varphi^+(A1) = \frac{(0 + 0,317 + 0,265 + 0,466 + 0,426)}{4} = 0,368$$

Perhitungan *entering flow* menggunakan persamaan (6) dengan melakukan penjumlahan seluruh nilai indeks preferensi pada perbandingan satu alternatif terhadap alternatif lainnya dibagi dengan total alternatif dikurangi satu. Berikut merupakan contoh perhitungan *Entering flow* alternatif A1 menggunakan persamaan berikut.

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \varphi(b, a): (a \neq b) \tag{6}$$

$$\varphi^-(A1) = \frac{(0 + 0,348 + 0,075 + 0,280 + 0,140)}{4} = 0,211$$

Dengan melakukan cara perhitungan yang sama, berikut merupakan ringkasan perhitungan untuk *entering flow* dan *leaving flow* yang dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Ringkasan Nilai *Leaving Flow* Dan *Entering Flow*

Alternatif	PLTU Suralaya 8	PLTU PEC 3	PLTU Paiton 9	PLTU Cilacap 3	PLTU Adipala	Leaving Flow +
PLTU Suralaya 8 (A1)	0	0.317	0.265	0.466	0.426	0.368
PLTU PEC 3 (A2)	0.348	0	0.313	0.363	0.452	0.369
PLTU Paiton 9 (A3)	0.075	0.092	0	0.317	0.248	0.183
PLTU Cilacap 3 (A4)	0.280	0.146	0.321	0	0.170	0.229
PLTU Adipala (A5)	0.140	0.135	0.152	0.070	0	0.124
Entering Flow -	0.211	0.172	0.263	0.304	0.324	

Proses perankingan PROMETHEE II diperoleh dengan melakukan perhitungan *Net Flow* dari hasil *leaving flow* dan *entering flow* yang telah dihitung sebelumnya. Dengan persamaan (7) dilakukan perhitungan selisih dari *leaving flow* dengan *entering flow* untuk setiap alternatif. Berikut merupakan contoh perhitungan *Net Flow* untuk alternatif A1 sebagai berikut.

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (7)$$

$$\varphi(A1) = 0,368 - 0,211 = 0,158$$

Dengan melakukan cara perhitungan yang sama, berikut merupakan ringkasan perhitungan untuk *net flow* yang dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Ringkasan Indeks Preferensi

Alternatif	Leaving flow +	Entering flow -	Net flow	Ranking
PLTU Suralaya 8 (A1)	0.368	0.211	0.158	2
PLTU PEC 3 (A2)	0.369	0.172	0.197	1
PLTU Paiton 9 (A3)	0.183	0.263	-0.080	4
PLTU Cilacap 3 (A4)	0.229	0.304	-0.075	3
PLTU Adipala (A5)	0.124	0.324	-0.200	5

Berdasarkan hasil perhitungan *net flow* yang dilakukan, nilai *net flow* yang paling besar akan menjadi prioritas pertama. Dari Tabel 8 di atas didapatkan prioritas pertama adalah alternatif A2 yaitu PLTU PEC 3, diikuti oleh alternatif A1 yaitu PLTU Suralaya 8, selanjutnya Alternatif A4 yaitu PLTU Cilacap 3, dan alternatif A3 yaitu PLTU Paiton 9 serta terakhir adalah alternatif A5 yaitu PLTU Adipala 5.

Dari hasil pembobotan global pada Tabel 8 di atas, dapat dilihat bahwa subkriteria usia memiliki nilai persentase pembobotan tertinggi sekitar 30%, hal ini menunjukkan bahwa kriteria usia masih menjadi kriteria utama dengan tingkat kepentingan tertinggi pada *early retirement* PLTU. Urutan pembobotan kedua diduduki oleh kriteria ekonomi harga PLTU dengan bobot persentase sekitar 19%, hal ini dapat diartikan bahwa PLTU dengan harga yang mahal menjadi urutan ke dua untuk dilakukan *early retirement*. Kriteria teknis kapasitas memiliki prosentase pembobotan ketiga dengan nilai sekitar 17% dimana hal ini berarti PLTU dengan kapasitas besar memiliki kepentingan ketiga dalam *early retirement*. Setelah kapasitas, kriteria dengan persentase bobot keempat masih pada kriteria teknis, yaitu efisiensi dengan nilai sekitar 11%, pembangkit tidak efisien cenderung boros dan sudah tidak optimal beroperasi. Kriteria-kriteria selanjutnya dengan bobot persentase di bawah 10%, berturut turut adalah emisi CO<sub>2</sub>, dengan nilai 8%, biaya 6%, CF 5% dan polusi udara berada di urutan terakhir dengan nilai 4%.

Nilai pembobotan yang dihasilkan pada suatu penelitian akan sangat tergantung pada kriteria-kriteria yang digunakan dan juga penilaian para ahli atas kriteria tersebut. Dengan memperhitungkan kriteria-kriteria tersebut, metode AHP membantu menyusun keputusan yang lebih terstruktur dan memberikan landasan yang kuat bagi pengambilan keputusan secara rasional.

Selain hasil pembobotan, metode perankingan akan mempengaruhi proses perankingan untuk menentukan urutan prioritas pembangkit. Proses perankingan

menggunakan nilai dari data-data operasional yang diolah dengan menggunakan metode PROMETHEE untuk proses seleksi secara menyeluruh.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kriteria usia menduduki persentase pembobotan tertinggi dibandingkan kriteria lainnya, namun demikian hal ini tidak serta merta menjadikan PLTU dengan usia tertua menjadi urutan pertama untuk *early retirement* karena pembobotan bukan menjadi faktor penentu perankingan semata. Perankingan dilakukan secara menyeluruh terhadap semua alternatif berdasarkan nilai *net flow* yang menghasilkan keputusan yang lebih terstruktur dan memberikan landasan yang kuat bagi pengambilan keputusan secara rasional.

Dengan metode PROMETHEE II didapatkan proses seleksi secara menyeluruh terhadap seluruh alternatif sehingga menghasilkan peringkat yang jelas terhadap alternatif yang dievaluasi. Hal ini mempermudah pengambil keputusan untuk memahami dan membandingkan posisi relatif dari setiap alternatif yang terbaik. Proses pemilihan urutan prioritas *early retirement* pada 5 kandidat PLTU di Jamali menghasilkan prioritas pertama adalah PLTU PEC 3, diikuti oleh PLTU Suralaya 8, selanjutnya PLTU Paiton 9, dan kemudian PLTU Cilacap 3 serta terakhir adalah PLTU Adipala 5.

Untuk penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menambahkan kriteria dengan subkriteria yang lainnya yang belum digunakan pada penelitian ini. Hal ini dapat lebih memperkaya proses seleksi dalam mendapatkan urutan prioritas. Atau justru menggunakan kriteria sesuai Perpres 112 yang tentunya dengan berkolaborasi dengan pihak-pihak yang lebih berkompeten sesuai bidang pada subkriteria. Proses valuasi pada kriteria ekonomi dapat menggunakan metode perhitungan tertentu yang lebih spesifik sehingga data yang dihasilkan dapat lebih tajam dan mendekati nilai sesungguhnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang terlibat dan mendukung penelitian ini, khususnya pada seluruh responden.

#### REFERENSI

- [1] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030. Indonesia, Jakarta, 2021.
- [2] Nace Ted, "A Coal Phase-Out Pathway for 1.5°C: Modeling A Coal Power Phase-Out Pathway For 2018–2050 At The Individual Plant Level in Support of The IPCC 1.5°C Findings on Coal", Report, Greenpeace and Coal Swarm, 2018.
- [3] Huetteman Justine, Analyzing the closure of coal-fired power plants in the regional greenhouse gas initiative states 2000-2015 [Master's thesis], Master of Environmental Management degree in the Nicholas School of the Environment of Duke University, 2017.
- [4] Fleischman Lesley, Cleetus Rachel, Deyette Jeff, Clemmer Steve, Frenkel Steve, "Ripe for retirement: An economic analysis of the US coal fleet", Elsevier. Vol. 26 (10). hal. 51–63, 2013.
- [5] Nada Maamoun, Ryan Kennedy, Xiaomeng Jin, Johannes Urpelainen, "Identifying Coal-Fired Power Plants for Early Retirement", Elsevier, Volume 126, July 2020, 109833, 2020.
- [6] Ryna Yiyun Cui, Nathan Hultman, Diyang Cui, Haewon McJeon, Sha Yu, Morgan R. Edwards, Arijit Sen, Kaihui Song, Christina Bowman, Leon Clarke, Junjie Kang, Jiehong Lou, Fuqiang

- Yang, Jiahai Yuan, Weirong Zhang & Mengye Zhu, "A Plant-by-Plant Strategy for High-Ambition Coal Power Phaseout in China", *Nature Communications* volume 12, Article number: 1468, 2021.
- [7] Nada Maamoun, Puneet Chitkara, Joonseok Yang, Gireesh Shrimali, Joshua Busby, Sarang Shidore, Yana Jin, Johannes Urpelainen "Identifying Coal Plants for Early Retirement in India: A Multidimensional Analysis of Technical, Economic, And Environmental Factors", Elsevier, Volume 312, 118644, 2022.
- [8] Setya Budi, Rizki Firmansyah, and Suparman Suparman, "Perhitungan Faktor Emisi CO<sub>2</sub> PPLTU Batubara dan PLTN." *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 15, no. 1, 2013.
- [9] Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, "Data Laporan Kinerja Tahun 2022", hal 42-45, 2022.
- [10] Saaty TL., "Decision making with the analytic hierarchy process". *International Journal Services Sciences*, 1 (1), hal. 83-98, 2008.
- [11] Brans, J.P. and Vincke, P, "A Preference Ranking Organisation Method", *Management Science*, 31, hal. 647-656, 1985.