

Implementasi analytic hierarchy process dalam penentuan bobot key performance indicators pada pembangkit listrik turbin uap

Akbar Anggriawan^{a,1}, Anita Susilawati^a, Dodi Sofyan Arief^a, Nazaruddin^a,

^aMechanical engineering Department, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

¹akbaranggriawan@gmail.com

Abstract. Optimizing Key Performance Indicators (KPIs) in steam turbine power plants is essential for improving operational efficiency, particularly in the palm oil processing industry. This study employs the Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine the relative weights of selected KPIs, thereby supporting more effective decision-making to enhance performance. The research aims to apply AHP to determine KPI weights, thereby supporting data-driven decision-making to improve the management of steam turbine power plants. The results of this study are expected to contribute to both academic discourse and practical advances in performance evaluation in the field of renewable energy. Four critical KPIs were evaluated using pairwise comparisons based on expert judgment. The results indicate that power output (47.16%) is the most significant KPI, highlighting its dominant influence on turbine performance. This is followed by the availability factor (38.58%), which emphasizes the importance of ensuring reliable operations and minimizing downtime. Meanwhile, steam consumption (9.69%) and the capacity factor (4.58%) were found to have lower relative importance, though they still contribute to overall efficiency improvements. The consistency ratio (CR) for all expert assessments was below the accepted threshold of 0.10, validating the reliability and coherence of the AHP results. These findings demonstrate that AHP provides a robust and systematic framework for prioritizing KPIs in steam turbine power plants.

Keywords: *Steam turbine, KPI optimization, Analytic Hierarchy Process (AHP), Operational efficiency, Palm oil industry*

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/6yw8w905>

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik telah menjadi kebutuhan penting dalam industri manufaktur pengolahan CPO (*crude palm oil*). Untuk meningkatkan efisiensi operasional, sangat penting untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan *Key Performance Indicators* (KPI) secara akurat yang mencerminkan kinerja pembangkit listrik tersebut. Namun, penentuan bobot relatif dari KPI tersebut melibatkan proses pengambilan keputusan yang kompleks karena adanya berbagai kriteria yang menjadi pertimbangan.

Mengembangkan sistem pengukuran kinerja yang efektif untuk mendorong perbaikan berkelanjutan merupakan tantangan, mengingat perbedaan strategi dan karakteristik yang dimiliki oleh masing-masing perusahaan [1]. *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan metodologi pengambilan keputusan yang efektif untuk permasalahan kompleks yang melibatkan berbagai kriteria atau tujuan [2], [3]. Metode AHP melakukan pendekatan yang fleksibel terhadap permasalahan pengambilan keputusan yang secara alami cenderung tidak konsisten [4]. Dalam konteks pembangkit listrik, AHP telah digunakan untuk menyusun bobot KPI, sehingga membantu manajemen dalam mengambil keputusan yang tepat untuk perbaikan berkelanjutan. [5]. Sebagai contoh, dalam teknologi konversi biomasa, kriteria seperti kesiapan teknologi, efisiensi konversi, dan biaya telah diperingkatkan menggunakan AHP guna

mengidentifikasi pilihan terbaik untuk produksi *biofuel* di India [6]. Dengan memecahkan keputusan yang kompleks menjadi perbandingan berpasangan dan menggabungkan hasilnya, AHP memberikan pendekatan sistematis untuk memprioritaskan faktor-faktor dan alternatif dalam pengambilan keputusan. Penelitian ini membahas penerapan AHP dalam evaluasi KPI untuk pembangkit listrik turbin uap,

Emawan melakukan sebuah studi terkait kinerja pembangkit listrik berbasis gas engine. Studi tersebut menggunakan *forum group discussion* (FGD) untuk merumuskan KPI yang relevan bagi pembangkit listrik *gas engine*. Metode AHP diterapkan untuk menentukan bobot dari masing-masing kriteria KPI tersebut. Hasil dari pembobotan kriteria KPI menunjukkan bahwa, peringkat satu adalah *Power output* (MW), sebesar 70.18 %, peringkat dua adalah *heat rate* (BTU/kWh) sebesar 14.9 %, peringkat 3 *operating ratio* (%) sebesar 8.06 %, dan peringkat 4 adalah *capacity factor* (%), sebesar 6.22% [5].

Mufrida melakukan penelitian untuk menentukan KPI dalam pengukuran pemeliharaan pembangkit listrik tenaga air di PLTA Lubuk Gadang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa KPI yang paling diprioritaskan di tingkat korporat adalah jumlah kWh yang dihasilkan, dengan bobot sebesar 0.420. KPI yang paling diprioritaskan di tingkat strategis adalah *capacity factor* (faktor kapasitas), dengan bobot sebesar 0.478. Sementara itu, KPI yang paling prioritas di tingkat fungsional adalah pemeliharaan ulang

(*rework maintenance*), dengan bobot sebesar 0.540. [7].

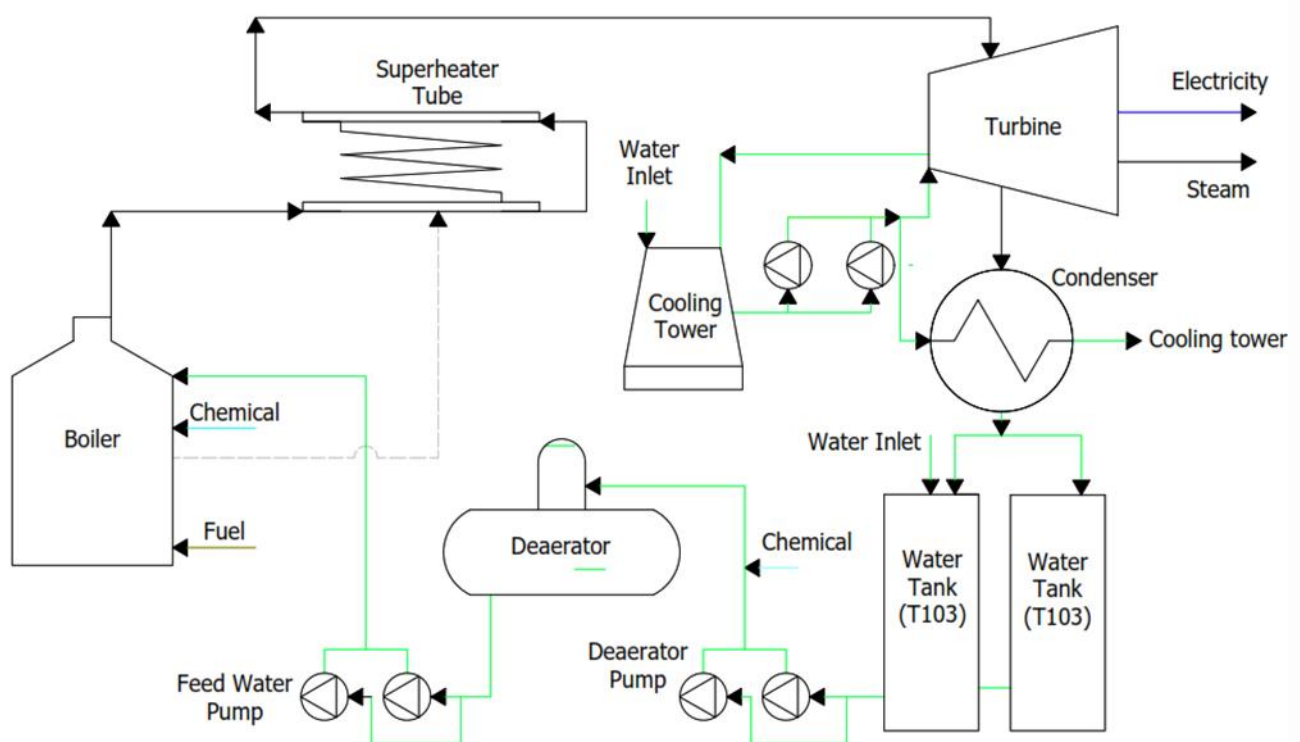
Penelitian ini bertujuan untuk penerapan AHP menentukan bobot KPI, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk peningkatan manajemen pembangkit listrik turbin uap. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi baik dalam akademis maupun kemajuan praktis dalam penilaian kinerja energi terbarukan. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah responden/pakar yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan.

PT KJX adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan CPO yang memiliki sistem pembangkit listrik sendiri. Terdapat indikasi

kelebihan konsumsi uap untuk memproduksi listrik yang menyebabkan terjadinya inefisiensi akibat pemborosan uap penggunaan uap tersebut. Pemborosan ini turut berkontribusi terhadap peningkatan biaya operasional.

Utility dan Power Plant Process di PT KJX

Unit *utility* dan pembangkit listrik merupakan unit yang saling berkaitan dan berfungsi sebagai sistem pendukung bagi pabrik produksi dalam proses pemurnian minyak sawit dan pengolahan oleokimia. Secara umum, pada Gambar 1. Merupakan alur proses dari sistem utility dan pembangkit listrik yang umum ditemukan di industri refinery dan oleokimia.



Gambar 1. Utility and Power Plant alur proses diagram PT KJX

Pada Gambar 1, proses pembangkitan uap dan listrik dimulai dengan pengambilan air dari *Water Treatment Plant* (WTP), dengan memastikan bahwa unit *deaerator* menggunakan pompa *deaerator*. *Deaerator* merupakan unit pengolahan air yang berfungsi sebagai penghilang oksigen (*oxygen scavenger*), di mana suhu harus dijaga antara 103°C hingga 107°C [8]. Kandungan oksigen yang masih terdapat dalam air dapat menyebabkan kerusakan pada pipa-pipa dalam sistem boiler, yang ditunjukkan dengan adanya korosi dan kebocoran pipa.

Proses selanjutnya adalah transfer air yang telah mengalami deoksigenasi (*deoxidized*), dalam sistem *deaerator*, menuju ke dalam *steam drum* boiler. Proses

ini menggunakan pompa air (*feedwater pump*). Di dalam *steam drum*, terjadi perubahan fase air menjadi uap. Pemanasan air dalam *steam drum* dilakukan melalui pembakaran bahan bakar di dalam tungku (*furnace*), dengan suhu berkisar antara 850 °C hingga 950 °C. Tekanan operasi di dalam setiap boiler bervariasi tergantung pada kebutuhan operasional spesifik pabrik. [9].

Selanjutnya, uap yang dihasilkan dalam *steam drum* dialirkan ke sistem pipa *superheater*, yang dipanaskan kembali hingga mencapai kondisi uap kering (*dry steam*). Kapasitas sistem *superheater* kualitas air telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Air tersebut pertama disimpan dalam tangki air (T103),

yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk air yang ditransfer dari WTP. Selanjutnya, air dipompa ke unit deaerator menggunakan pompa deaerator. Deaerator merupakan unit pengolahan air yang berfungsi sebagai penghilang oksigen (oxygen scavenger), di mana suhu harus dijaga antara 103°C hingga 107°C [8]. Kandungan oksigen yang masih terdapat dalam air dapat menyebabkan kerusakan pada pipa-pipa dalam sistem boiler, yang ditunjukkan dengan adanya korosi dan kebocoran pipa.

Proses selanjutnya adalah transfer air yang telah mengalami de-oksigenasi (*deoxidized*), dalam sistem deaerator, menuju ke dalam *steam drum* boiler. Proses ini menggunakan pompa air (*feed water pump*). Didalam *steam drum*, terjadi perubahan fase air menjadi uap. Pemanasan air dalam steam drum dilakukan melalui pembakaran bahan bakar di dalam tungku (*furnace*), dengan suhu berkisar antara 850°C hingga 950°C. Tekanan operasi di dalam setiap boiler bervariasi tergantung pada kebutuhan operasional spesifik pabrik. [9].

Selanjutnya, uap yang dihasilkan dalam steam drum di alirkan ke sistem pipa *superheater*, yang dipanaskan kembali hingga mencapai kondisi uap kering (*dry steam*). Kapasitas sistem *superheater* bergantung pada kebutuhan spesifik pembangkit listrik. Setelah melewati *superheater*, uap disalurkan ke turbin untuk menghasilkan energi listrik dan energi panas. Listrik dan uap yang dihasilkan kemudian digunakan dalam berbagai proses produksi. Sistem turbin juga di dukung oleh *cooling tower*, yang berfungsi sebagai media pendingin untuk kondensor dan generator. Produksi uap dan listrik juga menghasilkan uap berlebih dan kondensat, yang terbentuk melalui proses kondensasi di dalam sistem. Air kondensat ini di proses di unit kondensor untuk diubah kembali menjadi air, yang kemudian ditransfer ke tangka penyimpanan air (T103). Seluruh siklus ini berlangsung secara terus menerus dan beroperasi dalam sistem tertutup (*closed-loop*) untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi.

Boiler dapat beroperasi menggunakan bahan baku yang berbeda, termasuk residu dalam suatu proses produksi. Bahan bakar yang digunakan berasal dari berbagai sumber, yaitu batu bara (*coal refuse*), gas alam (*natural gas*), minyak solar (*diesel oil*), dan material lain yang dapat terbakar, tergantung pada ketersediaan dan kebutuhan operasional [10].

Key Performance Indicators (KPIs) di dalam power plant

Tujuan utama dari evaluasi dan pemantauan *Key Performance Indicators* (KPI) dalam operasi

pembangkit listrik adalah untuk mengidentifikasi area yang kinerja yang kurang optimal, menganalisis masalah yang mendasarinya, serta menyusun strategi pemeliharaan yang bertujuan untuk mengurangi biaya operasional [11]. Adapun tujuan utama dari penilaian kinerja teknis pembangkit listrik berbasis sumber terbarukan adalah untuk memantau operasi unit atau kelompok pembangkit, mengidentifikasi penurunan kinerjanya, serta menentukan kebutuhan untuk melakukan pemeliharaan/perbaikan pada kelompok unit yang terdampak.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

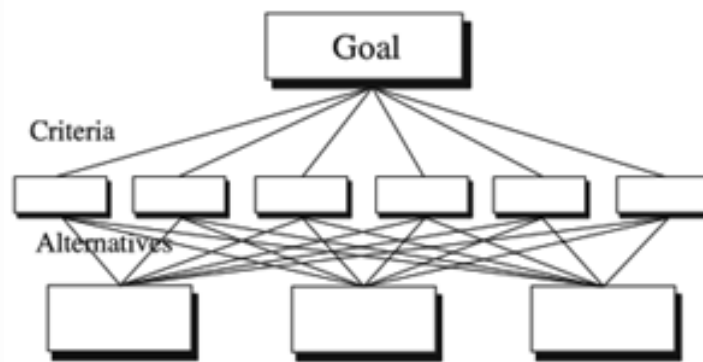
Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah suatu pendekatan pengambilan keputusan yang dirancang untuk menyelesaikan masalah dari aspek rasional maupun intuitif. Metode ini membantu dalam memilih alternatif terbaik dari sejumlah pilihan yang dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria yang menjadi pertimbangan [2].

Pada Gambar 2, bentuk paling sederhana dari struktur pengambilan keputusan untuk suatu masalah adalah hierarki yang terdiri dari tiga tingkat. Tingkat pertama merupakan tujuan atau objektif keputusan yang berada di puncak hierarki. Tingkat kedua yang berisi kriteria untuk mengevaluasi alternatif-alternatif yang terletak pada tingkat ketiga.

Dekomposisi hierarki dalam sistem yang kompleks merupakan alat dasar yang digunakan oleh pikiran manusia untuk mengatasi keragaman. Seseorang mengorganisasi faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan secara bertahap, mulai dari yang umum di tingkat atas hierarki hingga ke hal-hal yang spesifik di tingkat bawah.

Tujuan dari struktur ini adalah untuk memungkinkan kita menilai seberapa penting suatu elemen pada tingkat tertentu dibandingkan dengan beberapa atau semua elemen pada tingkat di atasnya.

Penilaian perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dalam AHP dilakukan antara elemen-elemen yang homogen [12]. Skala nilai fundamental digunakan untuk mengkuantifikasi penilaian dari para pengambil keputusan selama proses perbandingan berpasangan. Validitas skala ini harus ditetapkan tidak hanya melalui penerapannya yang konsisten di berbagai pengambil keputusan, tetapi juga melalui landasan teoretis yang kuat yang mendasari penggunaannya dalam membandingkan elemen-elemen homogen. Berdasarkan Tabel 1 disajikan skala fundamental yang digunakan.



Gambar 2. Tiga level AHP

Table 1. Skala fundamental AHP

<i>Intensity of importance</i>	<i>Definition</i>	<i>Explanation</i>
1	<i>Equal Importance</i>	<i>Two activities contribute equally to the objective</i>
2	<i>Weak</i>	
3	<i>Moderate importance</i>	<i>Experience and judgment slightly favour one activity over another</i>
4	<i>Moderate plus</i>	
5	<i>Strong importance</i>	<i>Experience and judgment strongly favour one activity over another</i>
6	<i>Strong plus</i>	
7	<i>Very strong or demonstrated importance</i>	<i>An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice</i>
8	<i>Very, very strong</i>	
9	<i>Extreme Importance</i>	<i>The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation</i>
<i>Reciprocals of above</i>	<i>If activity i has one of the above non zero number assigned to it when compare with activity j, then j has the reciprocal value when compared with</i>	<i>reasonable assumption</i>
<i>Rational</i>	<i>Ratios arising from the scale</i>	<i>If consistency were to be forced by obtaining n numerical values to span the matrix</i>

Solusi vektor eigen sangat penting dalam menurunkan vektor prioritas atau bobot dari matriks perbandingan berpasangan. Untuk memastikan konsistensi dalam penilaian, konsep nilai eigen utama diperkenalkan, yang dinyatakan melalui persamaan Aw

$= nW$, di mana A merupakan matriks perbandingan berpasangan, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ adalah vektor bobot yang akan ditentukan, dan n adalah nilai eigen utama yang berfungsi sebagai faktor penskalaan. Matriks perbandingan rasio kemudian dibentuk dan dikalikan dengan vektor bobot di sisi kanan untuk menghasilkan $n \cdot w$, seperti ditunjukkan dalam ekspresi berikut

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

Formula untuk penentuan indeks konsistensi (Consistency Index) adalah sebagai berikut:

$$CI = \frac{(\mu_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

Nilai maximum eigen vektor dapat di hitung pada menggunakan formula 3.

$$\mu_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A_w)}{(W_j)} \quad (3)$$

Formula untuk *consistency ratio* (CR) adalah sebagai berikut

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Consistency Ratio (CR) diperoleh dengan membandingkan *Consistency Index* (C.I.) dengan nilai acuan yang sesuai dari sekumpulan angka berikut (Tabel 2). Setiap nilai acuan ini merupakan indeks konsistensi acak rata-rata yang diturunkan dari sampel matriks timbal balik yang dihasilkan secara acak menggunakan skala 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9.

Table 2. Random consistency index (R.I)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(R.I)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Jika nilainya tidak kurang dari 0.10, masalah tersebut harus di pelajari kembali dan direvisi penilaian yang telah dibuat. Metode AHP mencakup indeks konsistensi untuk seluruh hierarki. Ketidakkonsistenan sebesar 10 persen atau kurang menunjukkan bahwa penyesuaian yang diperlukan kecil dibandingkan dengan nilai-nilai aktual dari elemen vektor eigen

Bobot relatif berbagai kriteria dikombinasikan untuk menghasilkan bobot terpadu yang mencerminkan keputusan kelompok, dengan tujuan mengurangi perbedaan pendapat di antara individu yang memiliki preferensi berbeda. Proses ini dilakukan menggunakan metode agregasi berbasis rata-rata geometrik untuk menghitung skor keseluruhan kelompok.

Ketika individu mengevaluasi subset kriteria yang berbeda, pendekatan yang disarankan melibatkan konversi peringkat individual menjadi bobot, yang

kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh bobot agregasi akhir [13]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode agregasi rata-rata geometrik lebih unggul dibandingkan metode rata-rata biasa karena kemampuannya untuk mencerminkan informasi preferensi secara lebih akurat dan menghindari terjadinya pembalikan peringkat (*reversal rank*) [14].

Proses ini diimplementasikan menggunakan persamaan matematis (ditunjukkan dalam Persamaan 5), di mana m merepresentasikan jumlah individu yang terlibat dalam pengambilan keputusan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode agregasi rata-rata geometrik lebih unggul dibandingkan metode rata-rata biasa karena dua keunggulan utama, Kemampuan merepresentasikan informasi preferensi secara lebih akurat, dan dapat menghindari terjadinya pembalikan peringkat [15].

$$W_j = \sqrt[m]{W_{1,j} \times W_{2,j} \times \dots \times W_{m,j}} ; j = 1, \dots, n \quad (5)$$

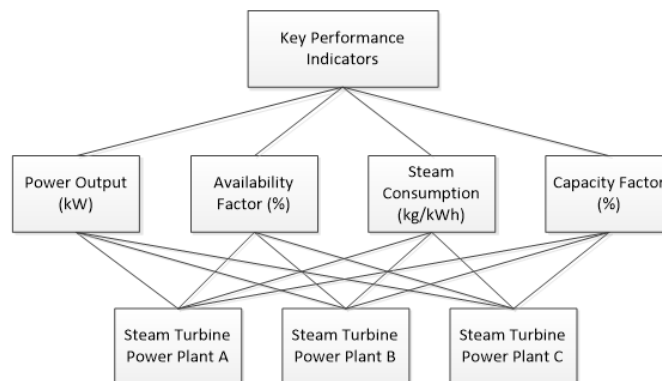
METODOLOGI ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Metode (AHP) yang digunakan dalam studi ini adalah untuk mengevaluasi *Key Performance Indicators* (KPIs) dari pembangkit listrik turbin uap. Metodologi AHP diterapkan melalui langkah-langkah terstruktur berikut ini:

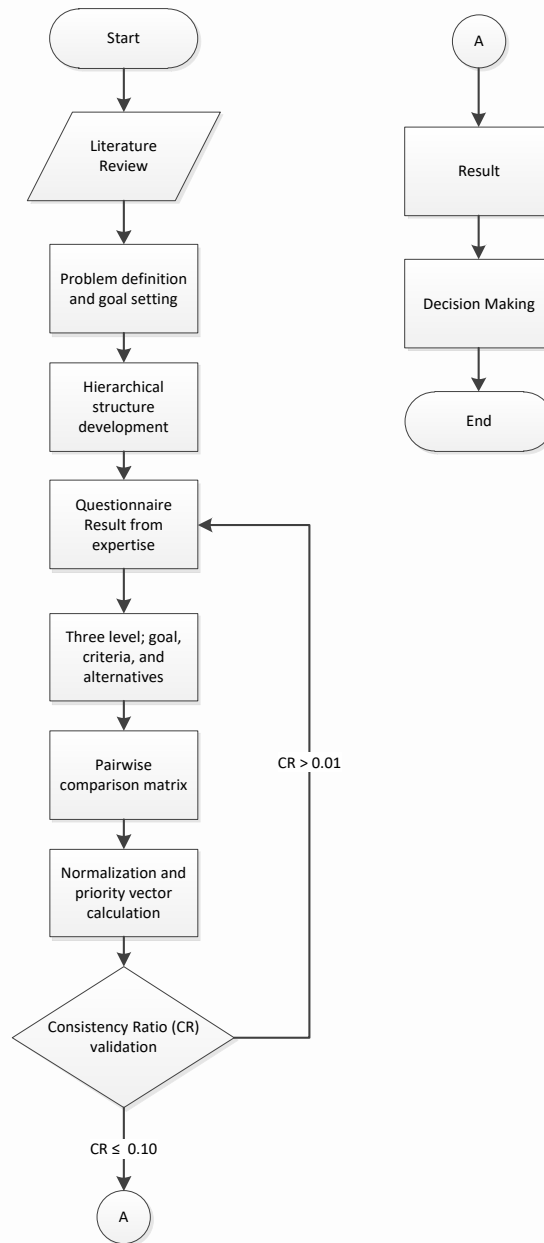
1. Penentuan masalah dan penetapan tujuan. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk menilai dan memprioritaskan KPI dari sistem turbin uap pada boiler turbin uap. Tujuan ini ditempatkan sebagai tingkat teratas (Level 1) dalam struktur hierarki.
2. Pengembangan struktur hirarki. Struktur hirarki tiga tingkat dibangun untuk evaluasi KPI secara sistematis:
 - Level 1 (*Goal* atau tujuan): Optimasi dari penggunaan uap pada *steam turbine* KPI.
 - Level 2 (Kriteria): kriteria di peroleh dari beberapa literatur. Kriteria tersebut yaitu
 - *Total power output (kWh)*
 - *Availability factor (%)*
 - *Steam consumption (kg/Kw)*
 - *Capacity factor (%)*
3. Level 3 (*Alternative*): alternatif KPI akan dievaluasi dan dilakukan pe-rank-ingan. Pendekatan AHP yang terstruktur ini memastikan evaluasi KPI yang sistematis dan objektif, didukung oleh penilaian para ahli dan analisis kuantitatif. Gambar 5 menyajikan seluruh alur langkah-langkah metodologi AHP.
4. Matriks perbandingan berpasangan (*Pairwise comparison matrix*)
Untuk setiap tingkat dalam hierarki, matriks perbandingan berpasangan dibentuk dengan

mengevaluasi tingkat kepentingan relatif antar elemen menggunakan skala 1–9 dari Saaty, di mana angka 1 menunjukkan tingkat kepentingan yang sama, dan angka 9 menunjukkan bahwa satu elemen jauh lebih penting dibandingkan elemen lainnya.

5. Normalisasi dan perhitungan vector prioritas. Setiap matriks perbandingan berpasangan dinormalisasi dengan cara:
 - Menjumlahkan nilai pada setiap kolom
 - Membagi setiap elemen dengan total kolomnya masing – masing, dan
 - Menghitung rata rata tiap baris untuk memperoleh vector prioritas (bobot relative)
6. Verifikasi Rasio Konsistensi (*Consistency Ratio* atau *CR*).
Konsistensi dari setiap perbandingan berpasangan dievaluasi dengan menghitung Rasio Konsistensi (CR). Nilai CR di bawah 0,10 menunjukkan bahwa penilaian dianggap konsisten; jika lebih dari itu, maka perbandingan perlu direvisi.
7. Sintesis hasil (*Result synthesis*).
Bobot relatif dari kriteria dan alternatif digabungkan secara keseluruhan di seluruh tingkatan hierarki untuk menentukan skor prioritas akhir dari masing-masing alternatif KPI.
8. Pengambilan keputusan.
Alternatif dengan skor keseluruhan tertinggi diidentifikasi sebagai pilihan terbaik, yang memberikan rekomendasi berbasis data untuk memprioritaskan KPI dalam operasi sistem boiler dan turbin uap



Gambar 3. Hierarchy Struktur



Gambar 4. Flow Chart metodologi AHP

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi indikator KPI dari turbin uap.

Untuk mengevaluasi performance dari turbin uap pada power plant, ada beberapa KPI yang umum digunakan KPI tersebut yaitu:

1. Total power output (kW)

Mengacu pada rata-rata total daya listrik yang dihasilkan oleh turbin, yang diukur dalam kilowatt (kW). Indikator ini merepresentasikan kemampuan produksi keseluruhan dari pembangkit selama periode waktu tertentu.

2. Availability factor (%)

Persentase waktu di mana pembangkit siap untuk menghasilkan daya dalam kondisi *ready to run* (terlepas dari apakah pembangkit

tersebut benar-benar sedang beroperasi atau tidak)

3. Steam consumption (kg/kWh)

Konsumsi uap adalah jumlah uap yang dibutuhkan oleh turbin untuk menghasilkan satu kilowatt-jam listrik. Energi masukan diukur dalam satuan kilo-joule. Rasio konsumsi uap yang lebih rendah menunjukkan biaya proses yang lebih efisien.

4. Capacity factor (%)

Capacity ratio adalah rasio antara energi listrik aktual yang dihasilkan selama periode tertentu terhadap energi maksimum yang seharusnya dapat dihasilkan jika pembangkit beroperasi pada kapasitas penuh secara terus-menerus.

Indikator ini menunjukkan seberapa efektif kapasitas pembangkitan terpasang dimanfaatkan.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

Nilai bobot dari setiap KPI diperoleh dari perhitungan AHP berdasarkan jawaban responden. Seluruh responden merupakan ahli yang bekerja di dalam perusahaan. Metode kuesioner digunakan untuk memperoleh jawaban dari para ahli, yang dirancang khusus untuk mendapatkan bobot masing-masing KPI. Kuesioner ini akan didistribusikan kepada seorang *supervisor senior* yang memiliki pengalaman lebih

dari 11 tahun di pembangkit listrik turbin uap, serta kepada dua orang *engineer* di bidang pembangkit listrik dan *utility*

Kuesioner ini memuat informasi dari para responden, yaitu keahlian mereka di dalam perusahaan (nama, jenis kelamin, jabatan, lama pengalaman dalam menghadapi pembangkit listrik turbin uap), departemen, serta tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria. Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat 3 orang ahli yang memberikan jawaban terhadap kuesioner yang dibagikan. Tingkat intensitas kepentingan untuk setiap KPI juga telah disediakan.

Table 3 Hasil kuesioner dari *Expertise*

Position	E1 Engineer	E2 Engineer	E3 Sr. SPV
Name	AA	AR	DS
Gender	Male	Male	Male
Sudan berapa lama anda bekerja di bidang Utility and Power plant?	06 – 10 years	11 – 15 years	11 – 15 years
Seberapa penting <i>Power Output (kW)</i> dibanding dengan <i>Availability factor (%)</i> ?	<i>Power Output</i>	<i>Power Output</i>	<i>Availability factor</i>
PO - AF	3	3	3
Seberapa penting <i>Power Output (kW)</i> dibanding dengan <i>Steam consumption ratio (kg/kW)</i> ?	<i>Power Output</i>	<i>Power Output</i>	<i>Power Output</i>
PO - SCR	8	7	5
Seberapa penting <i>Output (kW)</i> dibanding dengan <i>Capacity factor (%)</i> ?	<i>Power Output</i>	<i>Power Output</i>	<i>Power Output</i>
PO - CF	9	7	7
Seberapa penting <i>Availability factor (%)</i> dibanding dengan <i>Steam Consumption Ratio (kg/kW)</i> ?	<i>Availability factor</i>	<i>Availability factor</i>	<i>Availability factor</i>
AF - SCR	6	4	6
Seberapa penting <i>Availability factor (%)</i> dibanding dengan <i>Capacity factor (%)</i> ?	<i>Availability factor</i>	<i>Availability factor</i>	<i>Availability factor</i>
AF - CF	9	8	9
Seberapa penting <i>Steam Consumption Ratio (kg/kW)</i> dibanding dengan <i>Capacity Factor (%)</i> ?	<i>Steam consumption</i>	<i>Steam consumption</i>	<i>Steam consumption</i>
SCR - CF	3	3	4

Langkah selanjutnya melibatkan perhitungan CI menggunakan Persamaan (2). Setelah CI untuk setiap ahli diperoleh, nilai CR dihitung menggunakan Persamaan (3). Nilai RI ditentukan berdasarkan jumlah kriteria (n). Dalam kasus ini, karena $n = 4$, nilai RI yang sesuai adalah 0,89, sebagaimana dirujuk dalam Tabel 2. Konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan

dianggap dapat diterima jika nilai CR yang dihasilkan $\leq 10\%$.

Namun, jika CR melebihi 10%, maka penilaian subjektif harus direvisi untuk memastikan keandalan hasil. Perhitungan CR dirangkum dalam Tabel 4. Pendekatan yang terstruktur ini memastikan validitas proses analitis, sejalan dengan standar metodologis

yang telah ditetapkan dalam analisis pengambilan keputusan.

Table 4. Perhitungan nilai CR

Expertise	(λ -Max)	CI	RI	CR	Status
E1	4.2158	0.0719	0.9	0.0799	Diterima
E2	4.2071	0.0690	0.9	0.0767	Diterima
E3	4.2393	0.0798	0.9	0.0886	Diterima

Table 5. Peringkat *Aggregation* bobot dari kriteria

	E1	E2	E3	\bar{x}	\bar{x} Normalisasi
PO	0.5673	0.5598	0.2946	0.4540	0.4716
AF	0.3116	0.2950	0.5575	0.3714	0.3858
SC	0.0800	0.0961	0.1054	0.0932	0.0969
CF	0.0410	0.0491	0.0425	0.0441	0.0458

Langkah selanjutnya adalah menentukan bobot untuk setiap kriteria dengan mengagregasikan bobot relatif yang diberikan oleh masing-masing ahli. Proses agregasi ini dilakukan menggunakan metode rata-rata geometrik sebagaimana dijelaskan dalam Persamaan (5), yang melibatkan perhitungan akar pangkat empat (sesuai dengan jumlah kriteria) dari hasil perkalian bobot yang diberikan oleh para ahli. Setelah nilai rata-rata geometrik untuk setiap kriteria dihitung, dilakukan normalisasi dengan membagi nilai rata-rata geometrik masing-masing kriteria dengan jumlah seluruh rata-rata geometrik. Hasil dari proses agregasi ini dirangkum dalam Tabel 5, yang menyajikan bobot akhir yang telah digabungkan untuk setiap kriteria.

Berdasarkan grafik, dapat diamati bahwa *power output* memiliki bobot prioritas tertinggi sebesar 47,16%, diikuti oleh *availability factor* sebesar 38,58%, *steam consumption* sebesar 9,69%, dan *capacity factor* sebesar 4,58%.

Dengan adanya pemeringkatan KPI, manajemen dapat secara langsung mengidentifikasi parameter kinerja yang paling kritis dan memerlukan perhatian prioritas. KPI dengan nilai prioritas tertinggi dapat dijadikan acuan utama dalam penentuan program perbaikan, penjadwalan pemeliharaan, serta evaluasi kinerja unit operasi. Pendekatan ini membantu manajemen dalam menghindari pengambilan keputusan berbasis intuisi semata dan mendorong penerapan kebijakan yang lebih objektif dan terukur

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan metode

yang kuat dan efektif untuk menentukan bobot indikator kinerja utama pada pembangkit listrik turbin uap. Indikator kinerja utama turbin uap, berdasarkan urutan prioritas dari yang tertinggi, adalah sebagai berikut: daya keluaran (*power output*) memiliki bobot prioritas tertinggi sebesar 47,16%, diikuti faktor ketersediaan (*availability factor*) sebesar 38,58%, konsumsi uap (*steam consumption*) sebesar 9,69%, dan faktor kapasitas (*capacity factor*) sebesar 4,58%. Penelitian berikutnya disarankan untuk memperluas jumlah dan variasi pakar yang digunakan dalam proses evaluasi, guna memperkuat validitas dan konsistensi hasil analisis yang dihasilkan.

KONTRINBUSI PENULIS

Akbar Anggriawan sebagai engineer utilitas di PT. KJX berkontribusi dalam *writing (original draft and review and editing), Formal analysis, Investigation, visualization*. Dr. Dodi Sofyan Arief S.T., M.T., berkontribusi dalam *supervision*. Anita Susilawati S.T., M.Sc., Ph.D, berkontribusi dalam *conceptualization, methodology, supervision*, Dr. Nazarudin S.T., M.T. berkontribusi dalam *data curation, visualization dan supervision*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan Prof. Dr. Ahmad Fadli, S.T., M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik, dan Dr. Dodi Sofyan Arief, S.T., M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Susilawati, Productivity enhancement: lean manufacturing performance measurement based multiple indicators of decision making, *Prod. Eng.* 15 (2021) 343–359. <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01025-7>.
- [2] T.L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, 1985. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-032599-6.50008-8>.

- [3] L. V. Cremades, A. Ponsich, Simple and Objective Determination of Criteria Weights for Evaluating Alternatives When Using the Analytic Hierarchy Process, *Int. J. Anal. Hierarchy Process* 16 (2024) 1–23. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v16i3.1177>.
- [4] S. Carpitella, V. Kratochvíl, M. Pištěk, Multi-criteria decision making beyond consistency: An alternative to AHP for real-world industrial problems, *Comput. Ind. Eng.* 198 (2024) 110661. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110661>.
- [5] D. Emawan, A.T. Pratama, H. Nasution, Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) to Develop the Weighting of Key Performance Indicators on Gas Engine Power Plants, *Proc. Conf. Manag. Eng. Ind.* 3 (2021) 18–23. <https://doi.org/10.33555/cmei.v3i4.90>.
- [6] Sudeep Yadav, Amitabh K. Srivatava, R.S.Singh, Selection And Ranking Of Multifaceted Criteria For The Prioritization Of Most Appropriate Biomass Energy Sources For The Production Of Renewable Energy In Indian Perspective Using Analytic Hierarchy Process, *Int. J. Eng. Technol. Sci. Res. Volume 2* (2015) 89–98.
- [7] M. Meri, V. Dila, PENENTUAN PRIORITAS KPI UNTUK PERFORMANCE MEASUREMENT PEMELIHARAAN PLTA MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DOI : <https://doi.org/10.33330/jurteksi.v5i1.39> Available online at <http://jurnal.stmikroyal.ac.id/index.php/jurteksi> PENDAHULUAN, V (2018).
- [8] X. Chen, Deaerator system pressure and liquid level PID regulation control strategy, *Highlights Sci. Eng. Technol.* 27 (2022) 133–145. <https://doi.org/10.54097/hset.v27i.3730>.
- [9] M. Soleh, Y. Hidayat, Z. Abidin, Co-firing RDF in CFB Boiler Power Plant, 2019 *Int. Conf. Technol. Policies Electr. Power Energy, TPEPE 2019* (2019). <https://doi.org/10.1109/IEEECONF48524.2019.9102591>.
- [10] T. Elie, Boiler Fuels, Emissions and efficiency, (2016) 1 to 3.
- [11] S.V. Oprea, A. Bâra, Key Technical Performance Indicators for Power Plants, *Recent Improv. Power Plants Manag. Technol.* (2017). <https://doi.org/10.5772/67858>.
- [12] Y. Gunawan, C.L.F. Simorangkir, M. Aman, Analisis Kinerja Pltu Indramayu Sepanjang Tahun 2015 Performance Analysis of Indramayu ' S Coal-Fired Power Plants in Year 2015, *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbaru* 16 (2017) 97–106.
- [13] A. Tasri, A. Susilawati, Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia, *Sustain. Energy Technol. Assessments* 7 (2014) 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.02.008>.
- [14] R. Kumar Phanden, A. Sheokand, K. Kumar Goyal, P. Gahlot, H. Ibrahim Demir, 8Ds method of problem solving within automotive industry: Tools used and comparison with DMAIC, *Mater. Today Proc.* 65 (2022) 3266–3272. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.383>.
- [15] J. Krejčí, J. Stoklasa, Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean, *Expert Syst. Appl.* 114 (2018) 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.060>.