

## Modifikasi *Analytic Hierarchy Process* dalam Penyusunan Model Indeks Kesehatan Peralatan Gardu Induk

Gora Anadi Santika<sup>1\*)</sup>; Eko Yulianto<sup>2</sup>

1. PT PLN (Persero) UIP3B Sulawesi, Jl. Urip Sumoharjo No.Km7, Tello Baru, Panakkukang, Makassar, Sulawesi Selatan 90233, Indonesia
2. PT PLN (Persero) Kantor Pusat, Jl. Trunojoyo Blok M-I No.135, RT.6/RW.2, Melawai, Kby. Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12160, Indonesia

<sup>\*)</sup>Email: gora.santika@pln.co.id

### ABSTRACT

*The level of electricity consumption per capita in Indonesia has increased by 6.6% per year on average within 2009 to 2019 and is predicted to grow until 2060. Therefore, the importance of transmission system reliability has been escalated to secure the fulfillment of electrical energy needs. A good maintenance strategy needs to be carried out in order to ensure the reliability of transmission system, one of which is through implementation of asset health index. This research aims to propose a framework that combines the Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Analytic Hierarchy Process (AHP), and Simple Additive Weighting (SAW) methods to obtain a mathematical model of asset health index. Case study was conducted at PLN UIP3B Sulawesi in order to formulate health index model for medium voltage cubicle through quantifying the opinions of experts and practitioners in the field of 20 kV cubicle maintenance. The conclusions obtained are: 1) the use of framework based on FMEA, AHP, and SAW is able to produce multicriteria decision making model through objective quantitative approach; 2) the framework can be used as a tool to convert qualitative opinions into a series of quantitative weighting factors; 3) the framework was successfully applied to the case study of formulating cubicle health index model in UIP3B Sulawesi; 4) the framework has a good level of scalability so that in can accommodate further addition of other expert opinion in the future.*

**Keywords:** AHP, asset health index, FMEA, multicriteria decision, SAW

### ABSTRAK

*Tingkat konsumsi energi listrik per kapita di Indonesia telah mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.6% per tahun di sepanjang 2009 hingga 2019 dan diprediksi akan terus meningkat hingga 2060. Oleh karenanya, keandalan sistem penyaluran menjadi hal penting guna memastikan pemenuhan kebutuhan energi listrik. Strategi pemeliharaan yang baik perlu dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem penyaluran salah satunya melalui indeks kesehatan aset. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan kerangka kerja yang memadukan metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Analytic Hierarchy Process (AHP), dan Simple Additive Weighting (SAW) guna mendapatkan model matematis indeks kesehatan aset. Studi kasus dilakukan pada PLN UIP3B Sulawesi dalam rangka merumuskan model indeks kesehatan kubikel melalui kuantifikasi pendapat pakar dan praktisi di bidang pemeliharaan kubikel 20 kV. Kesimpulan yang diperoleh adalah: 1) penggunaan kerangka kerja berbasis FMEA, AHP, dan SAW mampu menghasilkan model pengambilan keputusan multikriteria melalui pendekatan kuantitatif yang objektif; 2) kerangka kerja tersebut mampu dipergunakan sebagai alat konversi pendapat kualitatif menjadi serangkaian bobot kriteria kuantitatif; 3) kerangka kerja tersebut berhasil diterapkan pada studi kasus pembuatan model indeks kesehatan kubikel di UIP3B Sulawesi; 4) kerangka kerja tersebut memiliki tingkat skalabilitas yang baik sehingga dapat menampung penambahan pendapat pakar lain di kemudian hari.*

**Kata kunci:** AHP, FMEA, indeks kesehatan aset, keputusan multikriteria, SAW

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan industrialisasi membawa implikasi terjadinya peningkatan konsumsi energi listrik di Indonesia [1]. Hal tersebut didukung oleh perkembangan teknologi pada berbagai sektor meliputi transportasi, industri, dan rumah tangga yang memunculkan beragam peralatan berbasis listrik. Dalam satu dekade, tercatat bahwa Indonesia telah mengalami kenaikan tingkat konsumsi energi listrik per kapita sebesar 66.15% dari 0.65 MWh di tahun 2009 menjadi 1.08 MWh pada tahun 2019 atau setara dengan 6.6% per tahun [2].

Lebih lanjut lagi, tingkat kebutuhan energi Indonesia diproyeksikan akan berada pada angka 240.8 Mtoe pada 2030 [3] dan akan terus mengalami peningkatan hingga mencapai 556.5 Mtoe pada 2060 [4]. Nilai ini meliputi seluruh kebutuhan energi pada berbagai sektor. Secara lebih rinci, sektor kelistrikan memiliki porsi sebesar 24% pada 2020 dan 28% pada 2060 [4]. Dengan kata lain, kebutuhan energi listrik di Indonesia berada pada 46.80 Mtoe di tahun 2020 dan diproyeksikan akan meningkat sebesar 232.95% menjadi 155.82 Mtoe pada 2060.

Kondisi tersebut membawa implikasi pada munculnya urgensi dari keandalan sistem penyaluran guna memastikan ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. PLN selaku pengelola sistem ketenagalistrikan di Indonesia merespon kondisi tersebut dengan menerbitkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, disingkat RUPTL, untuk dijadikan pedoman pengembangan sarana ketenagalistrikan yang efisien, terencana, dan berwawasan lingkungan. Pedoman tersebut memiliki fokus utama pada pemenuhan kapasitas energi listrik, pemanfaatan energi baru terbarukan, serta peningkatan efisiensi sistem ketenagalistrikan dalam lingkup proses bisnis utama perusahaan: pembangkitan, penyaluran, dan distribusi [5]. Implementasi strategi pemeliharaan yang baik memegang peran kunci untuk membantu menekan potensi kegagalan pada peralatan sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem [6].

Penyusunan kebijakan pemeliharaan seyogyanya dilakukan berdasarkan kondisi dari aset yang dikelola. Analisa MCDM [7, 8, 9] memberikan sebuah alternatif untuk menggambarkan kondisi aset melalui melalui indeks kesehatan aset. Indeks tersebut dapat dirumuskan melalui sebuah model matematis multivariabel yang mempergunakan hasil asesmen secara teknis sebagai masukan untuk menggambarkan kondisi aset secara umum melalui pendekatan FMEA [10]. Oleh karenanya, pengambilan keputusan menggunakan metode ini harus dilandaskan pada model matematis yang dapat dipertanggungjawabkan menggunakan pendekatan kuantitatif yang objektif [11].

Metode ini umumnya dikombinasikan dengan pendekatan SAW [12, 13, 14, 15] untuk menghasilkan produk akhir berupa model keputusan multikriteria dalam bentuk persamaan linier dengan modus kegagalan sebagai parameter penilaian. Pendekatan jenis ini umumnya memunculkan permasalahan terkait cara pemberian bobot dari masing-masing parameter modus kegagalan agar dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan akademis. Oleh karena hal tersebut, diusulkanlah sebuah kerangka kerja berbasis AHP [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] untuk dikombinasikan dengan metode FMEA guna menghindari terjadinya subjektivitas penilaian dalam penentuan bobot parameter indeks kesehatan aset.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang menggunakan desain penelitian pengembangan yang bertujuan untuk mengusulkan sebuah kerangka kerja terstandar yang dapat dipergunakan dalam penentuan bobot penilaian indeks kesehatan aset. Konsep utama yang dijadikan fokus penelitian adalah mengenai cara melakukan kuantifikasi pendapat yang bersifat subjektif sehingga dapat menjadi sebuah justifikasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Pendekatan dalam proses analisa dilakukan menggunakan teknik campuran kualitatif dan kuantitatif.

### 2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada Bulan Januari hingga Februari 2023 dengan mengambil lokasi di lingkungan PLN UIP3B Sulawesi beserta 3 unit pelaksana dan 13 unit layanan yang berada di bawah koordinasi fungsi bidang transmisi. Pengamatan difokuskan pada pembuatan rumusan model matematis indeks kesehatan aset kubikel.

### 2.2. Sumber Data

Guna menjawab tujuan penelitian, maka diperlukan data pendukung yang relevan. Terdapat tiga jenis data yang dibutuhkan: modus kegagalan kubikel, pendapat pakar, serta bobot penilaian. Rincian kebutuhan serta metode perolehan data tersebut terangkum dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Sumber data penelitian

No	Data	Sifat	Sumber
1	Modus kegagalan	Primer, kualitatif	Diskusi
2	Pendapat pakar	Primer, kualitatif	Survei
3	Bobot penilaian	Primer, kuantitatif	Kalkulasi

Pada tahap awal penelitian, diperlukan adanya informasi terkait modus kegagalan yang dapat menyebabkan sebuah kubikel tidak mampu menjalankan fungsi utamanya. Informasi tersebut akan dipergunakan untuk menyusun rumusan awal dari model asesmen indeks kesehatan kubikel. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan pendapat pakar dan praktisi untuk memberikan justifikasi terkait pengaruh masing-masing modus kegagalan terhadap satu sistem kubikel secara keseluruhan. Pendapat tersebut kemudian diolah dan dikuantifikasi untuk mendapatkan hasil akhir berupa bobot penilaian dalam bentuk nisbah relatif.

### 2.3. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui diskusi, survei, dan kalkulasi. Diskusi dilakukan guna memunculkan ide dan gagasan dari pakar dan praktisi yang terlibat dalam kegiatan pemeliharaan kubikel dengan hasil akhir berupa ragam modus kegagalan yang ada pada kubikel. Teknik pengumpulan data melalui survei dipilih agar memberikan fleksibilitas dan kenyamanan bagi responden dalam menuangkan pendapatnya melalui formulir digital. Selanjutnya, konversi pendapat kualitatif dilakukan menggunakan kalkulasi matematis untuk memperoleh hasil akhir yang bersifat kuantitatif dan dapat dipertanggungjawabkan.

### 2.4. Responden

Tahap diskusi dilakukan bersama dengan perwakilan dari seluruh unit induk pengelola transmisi di Regional Kalsulmapana berikut perwakilan divisi pembina terkait. Sedangkan pada tahap survei, responden yang dipilih berasal dari kalangan pakar dan praktisi dalam bidang pemeliharaan kubikel 20 kV di lingkungan UIP3B Sulawesi beserta 3 unit pelaksana dan 13 unit layanan yang berada di bawah koordinasi fungsi bidang transmisi.

### 2.5. Teknik Analisa

Guna melaksanakan model penelitian yang dirancang, maka akan diterapkan teknik analisa sebagai berikut:

1. Analisa kualitatif dilakukan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) terhadap potensi kegagalan yang ada pada sistem kubikel.

2. Analisa kuantitatif dilakukan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) terhadap pendapat yang disampaikan oleh responden guna menentukan bobot masing-masing modus kegagalan yang telah dikemukakan.
3. Analisa kuantitatif dilakukan menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk merumuskan model persamaan indeks kesehatan kubikel.

## 2.6. Tahap Penelitian

Penelitian dilakukan dalam empat tahapan utama sebagaimana dirangkum dalam **Gambar 1**. Pada mulanya, penelitian akan diawali dengan merumuskan modus kegagalan sistem kubikel melalui diskusi bersama pakar dan praktisi pada institusi tempat penelitian diselenggarakan. Selanjutnya, dilakukan survei untuk mengumpulkan pendapat responden terhadap bobot dari masing-masing modus kegagalan yang telah dirumuskan. Setelah itu, dilakukan kalkulasi untuk mendapatkan nilai terkuantifikasi dari pendapat yang telah dikemukakan. Tahapan akhir dari penelitian adalah penyusunan model matematis berdasarkan modus kegagalan serta bobot penilaian yang telah terkuantifikasi.



**Gambar 1.** Tahapan penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilaksanakan berdasarkan rancangan yang telah disusun sebagaimana dijelaskan dalam subbab metodologi penelitian. Adapun hasil yang diperoleh dari masing-masing tahapan penelitian dijabarkan secara lebih rinci dalam uraian sebagai berikut.

### 3.1. Hasil Diskusi

Pembahasan mengenai modus kegagalan kubikel dilakukan melalui sebuah forum diskusi yang dihadiri oleh perwakilan dari seluruh unit induk pengelola sistem transmisi di Regional Kalsulmapana, yaitu: UIP3B Kalimantan, UIP3B Sulawesi, UIW MMU, UIW PPB, UIW NTB, dan UIW NTT. Diskusi juga turut dihadiri oleh perwakilan dari Divisi Transmisi Kalsulmapana selaku pembina dari unit tersebut. Hasil akhir yang diperoleh dari diskusi tersebut adalah berupa rancangan awal dari kriteria asesmen indeks kesehatan kubikel yang disusun melalui pendekatan FMEA dengan rincian yang disajikan pada **Gambar 2**.

Indeks kesehatan aset, atau dalam bahasa Inggris *Asset Health Index* dan disingkat AHI, dari sebuah kubikel dinilai dapat digambarkan melalui dua buah parameter utama: *Condition Assessment Factors*, disingkat CAF, dan *Performance Assessment Factors*, disingkat PAF. Parameter pertama digunakan untuk memberi gambaran mengenai kondisi riil peralatan yang disimpulkan berdasar hasil pengujian. Sedangkan parameter kedua merupakan gambaran performa peralatan yang secara alami memiliki kecenderungan untuk mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya usia dan pemakaian.

Sistem	Asmt Factor	WF L1	Sub Sistem	WF L2	Item Uji	WF L3
AHI	CAF	(1a)	PMT	(2a)	Tahanan Kontak	(3a)
					Tahanan Isolasi	(3b)
					Vacum Chamber	(3c)
					Keserempakan	(3d)
					Teg Min Coil	(3e)
			CT	(2b)	Tahanan Isolasi	(3f)
					Ratio	(3g)
			PT	(2c)	Tahanan Isolasi	(3h)
					Ratio	(3i)
			Overall Anomaly	(2d)		
	PAF	(1b)	Umur	(2e)		
			Counter	(2f)		

**Gambar 2.** Rancangan awal kriteria asesmen indeks kesehatan kubikel

Pada tingkatan berikutnya, CAF dapat ditentukan berdasar kondisi dari ketiga subsistem yang ada pada kubikel: PMT, CT, dan PT. Masing-masing subsistem tersebut memiliki modus kegagalan yang dapat dideteksi menggunakan serangkaian pengujian antara lain: tahanan kontak, tahanan isolasi, uji vakum, dan tegangan minimum *coil* pada PMT serta tahanan isolasi dan uji rasio pada CT dan PT. Selain itu, kondisi anomali peralatan secara keseluruhan juga turut diperhitungkan dalam memberi kontribusi potensi kegagalan sebuah kubikel.

Parameter PAF dapat dinilai menggunakan dua kriteria: usia operasi dan jumlah *counter*. Usia operasi menggambarkan seberapa lama peralatan telah bekerja sehingga menimbulkan potensi penurunan performa. Sedangkan jumlah angka yang tertera pada *counter* peralatan menunjukkan seberapa sering peralatan tersebut dioperasikan. Semakin sering peralatan dioperasikan, maka semakin tinggi probabilitas peralana untuk mengalami penurunan performa.

Desain tersebut membawa implikasi pada munculnya 17 kriteria asesmen yang tersebar dalam tiga tingkatan: 2 kriteria pada tingkat pertama, 6 kriteria pada tingkat kedua, dan 9 kriteria pada tingkatan ketiga. Keseluruhan kriteria asesmen tersebut selanjutnya akan diberi bobot berdasarkan penilaian dari para pakar.

### 3.2. Hasil Survei

Berdasarkan rancangan kriteria asesmen yang telah ditentukan, maka dirumuskan 20 pertanyaan untuk ditanyakan sebagaimana terlihat pada **Gambar 3**. Pertanyaan tersebut disusun menjadi sebuah formulir kuesioner daring berbasis web guna memberikan fleksibilitas dan kemudahan bagi responden dalam pengisiannya.

<b>BAGIAN 1 - Assessment Factor (2x2)</b> 1. CAF ... dibanding PAF  <b>BAGIAN 2 - Subsistem PAF (2x2)</b> 1. Umur ... dibanding Counter  <b>BAGIAN 3 - Subsistem CAF (4x4)</b> 1. PMT ... dibanding CT 2. PMT ... dibanding PT 3. PMT ... dibanding Overall 4. CT ... dibanding PT 5. CT ... dibanding Overall 6. PT ... dibanding Overall	<b>BAGIAN 4 - Item Uji PMT (5x5)</b> 1. Takon ... dibanding Tasol 2. Takon ... dibanding Vaccum 3. Takon ... dibanding Keserempakan 4. Takon ... dibanding Teg. Coil 5. Tasol ... dibanding Vaccum 6. Tasol ... dibanding Keserempakan 7. Tasol ... dibanding Teg. Coil 8. Vaccum ... dibanding Keserempakan 9. Vaccum ... dibanding Teg. Coil 10. Keserempakan ... dibanding Teg. Coil	<b>BAGIAN 5 - Item Uji CT (2x2)</b> 1. Tasol ... dibanding Rasio  <b>BAGIAN 6 - Item Uji PT (2x2)</b> 1. Tasol ... dibanding Rasio
--	---	--

**Gambar 3.** Daftar pertanyaan survei

Responden diminta untuk membandingkan bobot antarkriteria, mana yang lebih penting, menggunakan skala 1-9 dengan keterangan cara menjawab ditunjukkan pada Gambar 4. Bilamana kedua bobot kriteria yang disajikan dirasa sama penting, maka responden dapat memilih angka 5 dalam kolom jawaban. Angka 1 menandakan kriteria pertama sangat lebih penting dibanding kriteria kedua, begitu pula angka 9 menandakan bahwa kriteria pertama sangat tidak penting jika dibandingkan dengan kriteria kedua.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Tahanan Kontak</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<b>Tahanan Isolasi</b>
Takon & Tasol <b>sama</b> pentingnya ( <i>Equally Important</i> )	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<b>SKOR KETERANGAN</b> 1 Extremely important 2 Very Strongly important 3 Strongly important 4 Moderately important 5 Equally important 6 Moderately less-important 7 Strongly less-important 8 Very Strongly less-important 9 Extremely less-important
Takon <b>lebih penting</b> dari Tasol ( <i>Extremely Important</i> )	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Takon <b>tidak lebih penting</b> dari Tasol ( <i>Strongly less Important</i> )	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Gambar 4.** Cara pengisian kuesioner

Setelah survei dilaksanakan, diperoleh 24 orang responden dengan pengalaman kerja di bidang pemeliharaan kubikel 20 kV yang bervariasi sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**. Responden berasal dari berbagai unit dengan rekapitulasi tertera pada **Tabel 3**. Dari segi pengalaman kerja, jumlah pesponden didominasi oleh kelompok dengan masa kerja pada rentang 5-10 tahun. Sedangkan dari aspek asal unit, responden didominasi oleh kelompok yang berasal dari unit layanan dan diikuti oleh kelompok yang berasal dari unit pelaksana.

**Tabel 2.** Pengalaman kerja responden

Rentang	Jumlah
< 5 tahun	4
5-10 tahun	16
10-15 tahun	0
>15 tahun	4
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>

**Tabel 3.** Asal unit responden

Kategori Unit	Jumlah
Unit Induk	1
Unit Pelaksana	9
Unit Layanan	14
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>

### 3.3. Bobot Penilaian

Jawaban responden yang telah terkumpul diolah menggunakan metode AHP untuk mendapatkan skala prioritas pembobotan dari masing-masing kriteria/subkriteria yang telah ditetapkan. Hasil pengolahan awal dari jawaban responden disajikan pada **Gambar 5**.

Sistem	Asmt Factor	WF L1	Sub Sistem	WF L2	Item Uji	WF L3
AHI	CAF	0.591	PMT	0.280	Tahanan Kontak	0.203
					Tahanan Isolasi	0.302
					Vacum Chamber	0.174
					Keserempakan	0.194
					Accessories	0.127
			CT	0.280	Tahanan Isolasi	0.675
	PAF	0.409	PT	0.172	Ratio	0.325
					Tahanan Isolasi	0.652
			Overall Anomaly	0.269	Ratio	0.348
					Umur	0.638
			Counter	0.362		

**Gambar 5.** Hasil perhitungan awal bobot kriteria asesmen indeks kesehatan kubikel

Sebuah sistem yang mengakomodir umpan balik sebagai masukan akan cenderung menjadi lebih stabil dibanding dengan sistem yang tidak menggunakan umpan balik [23, 24, 25]. Oleh karenanya, rasio konsistensi dipilih untuk dijadikan sebagai umpan balik dalam metode AHP. Berdasarkan perhitungan, didapati bahwa jawaban responden tidak cukup konsisten untuk menentukan pembobotan pada tingkatan CAF dibuktikan dengan rendahnya jumlah jawaban konsisten pada tingkatan tersebut sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 4**. Jawaban responden dapat dianggap konsisten jika memiliki nilai rasio konsistensi kurang dari 10% [16, 22].

**Tabel 4.** Konsistensi jawaban responden

Tingkatan	Total Responden	Jawaban Konsisten
AHI	24	24
PAF	24	24
CAF	24	3
PMT	24	8
CT	24	24
PT	24	24

Berdasarkan kondisi tersebut, penilaian pada tingkatan CAF dihapuskan sehingga diperlukan adanya revisi desain kriteria asesmen sebagaimana disajikan pada **Gambar 6**. Penyesuaian tersebut membawa implikasi pada tergabungnya subkriteria PMT, CT, PT, dan anomali menjadi satu subkriteria di bawah kriteria CAF. Guna mengakomodir kondisi tersebut, maka perlu dilakukan normalisasi terhadap bobot subkriteria PMT, CT, PT, dan anomali agar keempat kelompok tersebut

dapat menjadi satu agregat dengan total nilai bobot 1 menggunakan metode normalisasi penjumlahan linier [9].

Sistem	Asmt Factor	WF L1	Item Uji	WF L2
AHI	CAF	(1a)	Tahanan Kontak PMT	(3a)
			Tahanan Isolasi PMT	(3b)
			Vacum Chamber PMT	(3c)
			Keserempakan PMT	(3d)
			Accessories PMT	(3e)
			Tahanan Isolasi CT	(3f)
			Ratio CT	(3g)
			Tahanan Isolasi PT	(3h)
			Ratio PT	(3i)
			Overall Anomaly	(2d)
	PAF	(1b)	Umur	(2e)
			Counter	(2f)

**Gambar 6.** Revisi kriteria asesmen indeks kesehatan kubikel

Selanjutnya, dipilih 5 responden yang memiliki rasio konsistensi kurang dari 10% serta memiliki pengalaman kerja di bidang pemeliharaan kubikel 20 kV lebih dari lima tahun untuk kembali diolah menggunakan metode AHP guna mendapatkan nilai bobot kriteria asesmen. Adapun rincian dari kelima responden tersaji pada **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Data responden terpilih

No	Nama	Kategori Unit Kerja	Pengalaman Kerja
1	Responden A	Unit Layanan	5-10 tahun
2	Responden B	Unit Layanan	>15 tahun
3	Responden C	Unit Layanan	5-10 tahun
4	Responden D	Unit Pelaksana	>15 tahun
5	Responden E	Unit Pelaksana	5-10 tahun

Sistem	Asmt Factor	WF L1	Item Uji	WF L2
AHI	CAF	0.789	Tahanan Kontak PMT	0.066
			Tahanan Isolasi PMT	0.079
			Vacum Chamber PMT	0.052
			Keserempakan PMT	0.060
			Accessories PMT	0.037
			Tahanan Isolasi CT	0.188
			Ratio CT	0.110
			Tahanan Isolasi PT	0.188
			Ratio PT	0.110
			Overall Anomaly	0.110
	PAF	0.211	Umur	0.416
			Counter	0.584

**Gambar 7.** Hasil akhir bobot kriteria asesmen indeks kesehatan kubikel

Langkah akhir yang dilakukan adalah penarikan kesimpulan kumulatif dari kelima responden yang telah memenuhi standar yang dipersyaratkan menggunakan rata-rata geometrik [16, 22]. Oleh karena desain dari model yang sedang dikembangkan membutuhkan hasil akhir berupa nisbah relatif, maka perlu dilakukan normalisasi dari kesimpulan kumulatif yang telah diperoleh. Normalisasi dilakukan menggunakan metode penjumlahan linier sebagaimana diterapkan pada tahapan



sebelumnya. Hasil perhitungan masing-masing tahap perhitungan disajikan dalam **Tabel 6** dengan kesimpulan akhir yang tertera pada **Gambar 7**

**Tabel 6.** Perhitungan akhir bobot kriteria asesmen

Variabel	Responden					Kesimpulan Kumulatif	Normalisasi Kesimpulan
	A	B	C	D	E		
1a	0.900	0.500	0.900	0.750	0.750	0.744	0.789
1b	0.100	0.500	0.100	0.250	0.250	0.199	0.211
3a	0.056	0.055	0.067	0.062	0.074	0.062	0.066
3b	0.056	0.055	0.159	0.062	0.074	0.074	0.079
3c	0.056	0.055	0.020	0.062	0.074	0.049	0.052
3d	0.056	0.055	0.041	0.062	0.074	0.057	0.060
3e	0.056	0.055	0.017	0.062	0.015	0.034	0.037
3f	0.140	0.138	0.254	0.155	0.233	0.178	0.188
3g	0.140	0.138	0.051	0.155	0.078	0.103	0.110
3h	0.140	0.138	0.254	0.155	0.233	0.178	0.188
3i	0.140	0.138	0.051	0.155	0.078	0.103	0.110
2d	0.162	0.170	0.087	0.072	0.069	0.104	0.110
2e	0.100	0.167	0.833	0.250	0.833	0.311	0.416
2f	0.900	0.833	0.167	0.750	0.167	0.435	0.584

### 3.4. Rumusan Model Matematis

Berdasarkan kriteria asesmen yang telah ditetapkan pada **Gambar 6** serta dengan menggunakan bobot penilaian yang telah dihitung pada **Tabel 6**, maka dapat dirumuskan persamaan umum dari model indeks kesehatan kubikel sebagaimana terlihat pada (1)

$$AHI = 0.789 CAF + 0.211 PAF \quad (1)$$

dengan CAF yang didefinisikan pada (2)

$$CAF = 0.066 Takon PMT + 0.079 Tasol PMT + 0.052 Vaccum PMT + 0.060 Keserempakan + 0.037 Acc PMT + 0.188 Tasol CT + 0.110 Rasio CT + 0.188 Tasol PT + 0.110 Rasio PT + 0.110 Anomali \quad (2)$$

dan PAF sebagaimana didefinisikan pada (3).

$$PAF = 0.416 Usia + 0.584 Counter \quad (3)$$

### 3.5. Diskusi

Model matematis yang dihasilkan dari penelitian ini bertumpu pada tiga konsep analisa: FMEA, AHP, dan SAW. Pada tahap awal, analisa FMEA dipergunakan sebagai alat dalam merumuskan parameter penilaian. Metode ini dipilih karena sifatnya yang mampu membagi permasalahan suatu sistem menjadi subsistem yang lebih kecil dengan tingkat kerincian bergantung pada jumlah iterasi yang diinginkan. Produk akhir dari analisa ini berupa serangkaian kriteria kualitatif. Pada tahapan ini, metode AHP muncul guna memberikan skala prioritas yang bersifat kuantitatif terhadap serangkaian kriteria yang telah dihasilkan. Pendekatan ini mampu meminimalisir subjektifitas dengan menghadirkan umpan balik berupa rasio konsistensi sehingga dapat dilakukan penyaringan tanggapan dengan kualitas sesuai batasan tertentu. Pada tahap akhir, dilakukan

perumusan persamaan matematis menggunakan kaidah SAW karena memiliki tingkat kemudahan implementasi yang tinggi sehingga dapat dipergunakan dalam beragam situasi.

Evaluasi yang dilakukan terhadap tanggapan responden pada tingkatan CAF menunjukkan adanya indikasi inkonsistensi jawaban dalam jumlah yang cukup signifikan hingga mencapai 87.5% dari total tanggapan terkumpul. Hal tersebut menandakan bahwa sebagian besar responden tidak cukup yakin dengan penilaian mereka untuk menentukan prioritas ketiga subkriteria PMT, CT, PT, dan anomali. Fenomena tersebut juga dimungkinkan terjadi akibat responden kesulitan memahami perbedaan untuk dijadikan pertimbangan dalam membuat tanggapan. Oleh karenanya, penetapan definisi, batasan, dan ruang lingkup masing-masing kriteria memegang peran penting untuk disampaikan kepada responden guna mengantisipasi terjadinya hal semacam ini.

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang dilakukan, didapati bahwa pakar dan praktisi di lingkungan UIP3B Sulawesi berpendapat bahwa CAF memiliki peran yang lebih dominan dibanding dengan PAF dalam asesmen AHI kubikel. Lebih lanjut lagi, parameter CAF sangat dipengaruhi oleh hasil pengujian dari PMT, CT, dan PT dibuktikan dengan bobot penilaian subkriteria tersebut yang dominan dan relatif seimbang. Hal tersebut menandakan bahwa ketiga subsistem ini dianggap memegang peran kunci dalam penentuan kondisi kesehatan kubikel secara umum. Di sisi lain, parameter PAF cenderung lebih dipengaruhi oleh jumlah *counter* peralatan dibanding dengan usia. Hal tersebut bermakna bahwa peralatan yang lebih sering dioperasikan cenderung dianggap lebih berpotensi mengalami penurunan performa dibanding dengan peralatan yang beroperasi dalam jangka waktu lebih lama.

Kehadiran teknik penarikan kesimpulan kumulatif dari beberapa pendapat berbeda menjadikan kerangka kerja ini memiliki tingkat skalabilitas yang baik. Hasil survei yang didapat dari responden UIP3B Sulawesi masih dapat digabungkan dengan hasil survei yang dilakukan di unit lain bilamana dibutuhkan. Dengan demikian, pengembangan dari sebuah model yang telah dibuat masih dapat diperluas lagi dengan cara menambahkan jumlah responden sesuai dengan kebutuhan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan model pengambilan keputusan multikriteria membutuhkan pendekatan kuantitatif yang objektif dan dapat dipertanggungjawabkan. Penggunaan kombinasi metode FMEA, AHP, dan SAW mampu menyediakan sebuah kerangka kerja yang sistematis untuk memperoleh sebuah model matematis yang dapat dipergunakan dalam pengambilan keputusan multikriteria. Pendekatan ini mampu menghasilkan sebuah metode konversi pendapat yang bersifat kualitatif menjadi serangkaian bobot kriteria yang bersifat kuantitatif dengan mempertimbangkan rasio konsistensi jawaban yang diberikan.

Pada studi kasus pembuatan rumusan model indeks kesehatan kubikel, metode ini berhasil digunakan untuk melakukan kuantifikasi pendapat para pakar dan praktisi di lingkungan UIP3B Sulawesi. Namun demikian, pada kasus ini, perhitungan bobot kriteria tidak dapat dilakukan secara langsung oleh karena adanya inkonsistensi jawaban yang disampaikan responden sehingga perlu dilakukan iterasi dan penyesuaian model awal yang disusun. Hal ini mengindikasikan adanya dua kemungkinan: responden tidak cukup yakin dengan jawaban mereka sendiri atau responden kesulitan membedakan kriteria yang diberikan sehingga tidak dapat memberikan justifikasi yang konsisten.

Hasil akhir dari studi kasus ini pada prinsipnya telah siap untuk dipergunakan secara langsung dalam pelaksanaan asesmen indeks kesehatan kubikel. Namun demikian, tidak menutup kemungkinan bahwa jawaban dari responden UIP3B Sulawesi masih dapat dikombinasikan dengan pendapat pakar dan praktisi dari unit lain guna mengakomodir cakupan kebijakan yang lebih luas. Selain itu, peluang perbaikan dapat dilakukan pada tahap awal dengan cara memastikan definisi,

Batasan, dan ruang lingkup antarkriteria penilaian guna memudahkan responden dalam memberikan pendapat dan menghindari terjadinya kesalahan interpretasi dalam pengisian survei.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] M. A. McNeil, N. Karali and V. Letschert, "Forecasting Indonesia's Electricity Load through 2030 and Peak Demand Reductions from Appliance and Lighting Efficiency," *Energy for Sustainable Development*, vol. 49, pp. 65-77, 2019.
- [2] Badan Pusat Statistik, *Kompilasi Data Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia*, Jakarta, 2020.
- [3] D. A. Mardiana, R. T. Kartoatmodjo and S. Kasmungin, "Estimation of Indonesia's Energy Demand to 2030 and Alternatives Scenario to Reduce Oil Dependence," *Indonesian Journal of Energy*, vol. 1, no. 2, pp. 113-126, 2018.
- [4] E. Liun, Suparman, Sriyana, D. Dewi and J. S. Pane, "Indonesia's Energy Demand Projection until 2060," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 12, no. 2, pp. 467-473, 2022.
- [5] PT PLN (Persero), *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028*, Jakarta, 2019.
- [6] L. Bertling, R. Eriksson and R. Allan, "Relation between Preventive Maintenance and Reliability for a Cost-effective Distribution System," *IEEE Porto Power Tech Proceedings*, vol. 4, p. 6, 2001.
- [7] R. Jaya, E. Fitria, Yusriana and R. Ardiansyah, "Implementasi Multi Criteria Decision Making pada Agroindustri: Suatu Telaah Literatur," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 30, no. 2, pp. 234-243, 2020.
- [8] M. M. D. Widiarta, T. Rizaldi, D. P. S. Setyohadi and H. Y. Riskiawan, "Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & Promethee) for Employee Placement," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 953, 2018.
- [9] N. Vafei, R. A. Ribeiro and L. M. Camarinha-Matos, "Selection of Normalization Technique for Weighted Average Multi-Criteria Decision Making," *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 521, pp. 43-52, 2018.
- [10] R. E. McDermott, R. J. Mikulak and M. R. Beauregard, *The Basics of FMEA*, 2nd ed., New York: Productivity Press, 2009.
- [11] G. A. Santika, M. Sobarsyah and D. A. Parawansa, "Model Asesmen Berbasis Indeks dalam Pengelolaan Material Transmisi Utama pada PT PLN (Persero) UIKL Sulawesi: Mini Review," *Management Dynamic Conference*, vol. 8, no. 1, pp. 443-457, 2023.
- [12] A. Afshari, M. Mojahed and R. M. Yusuff, "Simple Additive Weighting Approach to Personnel Selection Problem," *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 1, no. 5, pp. 511-515, 2010.
- [13] A. Ibrahim and R. A. Surya, "The Implementation of Simple Additive Weighting Method in Decision Support System for The Best School Selection in Jambi," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1338, 2019.
- [14] M. I. Panjaitan, "Simple Additive Weighting Method in Determining Beneficiaries of Foundation Benefit," *Jurnal Teknologi Komputer*, vol. 13, no. 1, pp. 19-25, 2019.
- [15] B. Prasetyo, N. Baroroh and D. E. Rufiyanti, "Fuzzy Simple Additive Weighting Method in The Decision Making of Human Resource Recruitment," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 7, no. 3, pp. 174-181, 2016.
- [16] R. W. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used," *Mathematical Modelling*, vol. 9, no. 3-5, pp. 161-176, 1987.
- [17] M. Bernasconi, C. Choirat and R. Seri, "The Analytic Hierarchy Process and The Theory of Measurement," *Management Science*, vol. 56, no. 4, pp. 699-711, 2010.

- [18] T. A. Pachemska, M. Lapevski and R. Timovski, "Analytical Hierarchical Process Method Application in The Process of Selection and Evaluation," *UNITECH - International Scientific Conference At: Gabrovo*, vol. 14, pp. 373-380, 2014.
- [19] M. d. Santos, I. P. d. A. Costa and C. F. S. Gomes, "Multicriteria Decision-Making in The Selection of Warships: a New Approach to the AHP Method," *International Journal of The Analytic Hierarchy Process*, vol. 13, no. 1, pp. 147-169, 2021.
- [20] M. Jihadi, E. Vilantika, F. Sholichah and Z. Arifin, "Best Sharia Bank in Indonesia: an Analytical Hierarchy Process Approach," *International Journal of The Analytic Hierarchy Process*, vol. 13, no. 1, pp. 92-106, 2021.
- [21] J. Leal, "AHP-Express: A Simplified Version of The Analytical Hierarchy Process Method," *MethodsX*, vol. 7, 2020.
- [22] T. L. Saaty, "Decision Making with The Analytic Hierarchy Process," *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 2008.
- [23] S. Skogestad and I. Postlethwaite, *Multivariable Feedback Control Analysis and Design*, Chichester: Wiley, 2005.
- [24] J. Doyle, B. Francis and A. Tannenbaum, *Feedback Control Theory*, London: Macmillan Publishing, 1990.
- [25] K. J. Astrom and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientist and Engineers*, New Jersey: Princeton University Press, 2008.