

# Evaluasi Metode *Health Index* Untuk Menentukan Prioritas Pemeliharaan Gardu Distribusi

Galuh Prawestri Citra Handani<sup>\*a)</sup>, Rahman Azis Prasajo<sup>a)</sup>, Muhammad Fahmi Hakim<sup>a)</sup>,  
Muhammad Ridlo Zainal<sup>a)</sup>, Imron Ridzki<sup>a)</sup>, Bustani Hadi Wijaya<sup>b)</sup>

(Received 21 Agustus 2024 || Revised 22 September 2024 || Accepted 28 Oktober 2024)

**Abstract:** Electricity is an essential energy source that plays a crucial role in human life. A key component of power distribution systems is the distribution substation. As distribution substations are in operation over time, their components experience aging, which can result in operational failures. This situation emphasizes the necessity for regular evaluations and diagnostics of distribution substations. Such assessments are crucial for identifying when equipment requires repair or replacement, ensuring that the system operates at maximum efficiency. By implementing a proactive maintenance strategy, utilities can mitigate risks, enhance reliability, and extend the lifespan of their infrastructure. The scoring matrix method is a technique for evaluating the condition of distribution substations. It combines results from field and laboratory tests to produce values that accurately reflect the substation's condition. The research focused on four distribution substations managed by PT PLN, classifying them into high, medium, and low categories based on their health index scores. The results show that, among the four distribution substations evaluated, substations A and C received health indices exceeding 80%, classifying them in the high category. It is therefore recommended that these substations continue operating normally while adhering to their scheduled periodic maintenance. In contrast, substation B received a health index between 50% and 80%, placing it in the medium category. While it can remain operational, it requires closer monitoring and maintenance at specific intervals to ensure reliability and prevent potential issues.

**Keywords:** health index evaluation, scoring matrix, substation maintenance prioritization, distribution substation

## 1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan sumber energi yang berkontribusi penting bagi kehidupan manusia. Dapat dilihat bahwa sebagian besar aktivitas manusia didukung oleh peralatan listrik [1]. Ketika dipertimbangkan dari seberapa pentingnya energi listrik tersebut, tentu saja diperlukan kualitas sistem jaringan distribusi yang handal untuk memastikan kontinuitas distribusi listrik kepada konsumen [2]. Oleh karena itu, gardu distribusi harus dipelihara dengan baik.

Gardu distribusi adalah bangunan gardu transformator yang digunakan untuk memasok kebutuhan daya listrik [3]. Gardu distribusi terdiri dari komponen yang terintegrasi di dalamnya seperti *fuse cut out*, *lightning arrester*, transformator distribusi, dan perangkat hubung bagi tegangan rendah. Seiring berjalannya waktu operasi, komponen ini akan mengalami penuaan yang berpotensi menyebabkan kegagalan operasional. Kondisi ini menunjukkan bahwa gardu distribusi harus didiagnosis secara berkala untuk menentukan tindakan yang dilakukan apakah perlu diperbaiki atau diganti untuk memaksimalkan operasi sistem [4][5]. Ada beberapa hal yang dilakukan berdasarkan peraturan PT PLN (Persero) tentang aturan pemeliharaan menggunakan metode manajemen aset, yaitu penilaian Tier-1, Tier-2, dan Tier-3 [6].

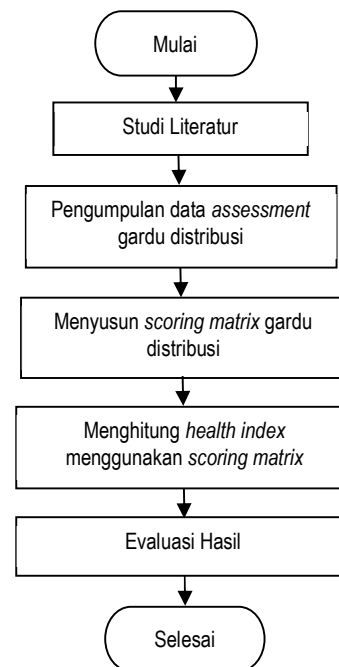
Berdasarkan penelitian sebelumnya, *scoring matrix* merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kondisi keseluruhan suatu aset [7][8]. *Health index* dapat menjadi alat yang berguna untuk manager aset jika dikembangkan dengan benar [9]. *Health index* terdiri dari 3 tahapan yaitu *scoring*, *weighting*, dan *agregation*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *scoring matrix* untuk mengevaluasi kondisi gardu sehingga nilai *health index* dapat diperoleh berdasarkan parameter penilaian gardu. Batas parameter penilaian tertera dalam Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 17 tahun 2014 tentang metode pemeliharaan trafo distribusi dan rekomendasi dari pengelola aset. Setelah nilai indeks kesehatan diperoleh, rekomendasi mengenai prioritas pemeliharaan dapat diajukan untuk melakukan pemeliharaan berdasarkan kondisi gardu [10]. Metode ini diharapkan dapat merangkum kondisi aktual dari gardu

sehingga rekomendasi pemeliharaan dapat didasarkan pada kondisinya dan menjadi jawaban atas masalah jumlah aset gardu distribusi yang tinggi yang dikelola oleh pengelola aset.

## 2. Metode

### 2.1 Flowchart Penelitian

Alur penelitian secara umum ditunjukkan dengan *flowchart* pada Gambar 2.1.



GAMBAR 2.1 FLOWCHART PENILAIAN GARDU DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE SCORING MATRIX

Prosedur untuk menentukan *health index* gardu dsitribusi dapat dilihat pada *flowchart* pada Gambar 2.1. Pada tahap pertama

\*Korespondensi: [galuh.prawestri@polinema.ac.id](mailto:galuh.prawestri@polinema.ac.id)

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

b) PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Utara, Surabaya, Indonesia

dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan *health index* gardu distribusi. Setelah itu, proses pengumpulan data dilakukan di PT PLN UP3 Surabaya Utara dengan melibatkan tim pemeliharaan serta pengolahan data yang berkaitan dengan parameter *health index* gardu distribusi. Pada tahap selanjutnya adalah menyusun *health index* gardu distribusi berdasarkan parameter-parameter yang diusulkan dan melakukan perhitungan *health index* menggunakan *scoring matrix*. Setelah perhitungan selesai, akan dilakukan evaluasi terkait penelitian ini dengan memvalidasi nilai *health index* yang diusulkan sudah sesuai dengan kondisi *existing* gardu distribusi di lapangan.

**2.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data**

Data yang dikumpulkan dari PT PLN UP3 Surabaya Utara adalah data inspeksi visual maupun dengan pengukuran *online* yang dilakukan saat pemeliharaan gardu distribusi yang diambil bersama tim pencegahan/pemeliharaan pada saat operasi HAR baik secara rutin, korektif dan darurat. Berikut merupakan data lapangan yang digunakan :

- a. Data spesifikasi gardu distribusi.
- b. Data inspeksi secara visual, meliputi kondisi fisik peralatan, terminasi peralatan, kesesuaian dan kelengkapan peralatan.
- c. Data inspeksi pengukuran *online*, meliputi pengukuran arus, tegangan, tahanan pentanahan, arus bocor dan *thermvision*.

Setelah semua data di atas didapatkan, data akan diolah dengan menggunakan persamaan agar dapat dimasukkan sebagai parameter *health index* gardu distribusi. Data hasil lapangan diolah untuk menghasilkan data input persentase pembebanan arus, keseimbangan arus antar fasa, dan persentase arus netral dengan menggunakan persamaan *load reading and profiling*.

Berikut variabel beserta persamaan untuk menghasilkan nilai parameternya [11].

- a. Presentase pembebanan arus tegangan rendah terhadap KHA outlet :

$$Pembebanan\ arus\ TR = \frac{I_{rata-rata}}{KHA\ TR} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$I\ rata - rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2-2)$$

Pembebanan arus tegangan rendah (TR) adalah persentase arus tegangan rendah dalam persen yang dihitung dengan persamaan (2-1), KHA TR adalah kuat hantar arus tegangan rendah (A),  $I_{rata-rata}$  adalah arus rata – rata tegangan rendah (A) yang dihitung dengan persamaan (2-2), dan  $I_{R,S,T}$  adalah beban arus fasa R, S, dan T.

- b. Ketidakseimbangan beban arus antar fasa

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (2-3)$$

$$Ketidakseimbangan = \frac{(a-1)+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\% \quad (2-4)$$

a, b, dan c adalah beban arus rata – rata yang dihitung dengan persamaan (2-3) dan ketidakseimbangan adalah persentase ketidakseimbangan arus beban antar fasa yang dihitung dengan persamaan (2-4).

- c. Presentase besar arus netral terhadap arus beban transformator

$$Pin = \frac{In}{I_{max}} \times 100\% \quad (2-5)$$

Dimana Pin adalah presentase arus netral yang dihitung dengan persamaan (2-5). In adalah arus netral dan I<sub>max</sub> adalah arus beban tertinggi dalam tiga fasa.

**2.3 Scoring Matrix**

Metode *scoring matrix* merupakan suatu pendekatan yang dapat digunakan untuk menilai kondisi gardu distribusi dengan cara menggabungkan pengujian lapangan atau laboratorium sehingga menghasilkan nilai yang menggambarkan kondisi gardu distribusi [12][13]. Pada metode *scoring matrix*, dilakukan klasifikasi hasil pengujian berdasarkan parameter yang akan digunakan untuk penilaian gardu distribusi. Kemudian dilakukan *scoring* pada tiap parameter sesuai dengan Tabel 2.1. Setelah tahap *scoring* selesai, tahap berikutnya adalah *weighting* dan *agregation*. Tujuan penilaian kondisi gardu distribusi menggunakan metode *scoring matrix* adalah memudahkan dalam menyusun prioritas pemeliharaan pada sebuah populasi gardu distribusi berdasarkan indeks kesehatan yang didapatkan dari beragam parameter uji. Dengan pendekatan ini dapat diidentifikasi gardu distribusi mana yang perlu diperhatikan terlebih dahulu.

**TABEL 2.1 SCORING PADA TIAP PARAMETER**

Komponen	Parameter	Unit	Score			
			Baik 3	Cukup 2	Kurang 1	Buruk 0
Fuse Cut Out	Kondisi FCO		Lengkap	Cup bushing tidak ada	Rusak	Tidak ada
	Terminasi dan Kebersihan FCO		Mur baut kencang, Bersih	Mur baut kencang, Kotor	Mur baut kendur, Bersih	Mur baut kendur, Kotor
	Thermovision	°C	<75	75 - <90	90 - 105	>105
Arrester	Kondisi Arrester		Lengkap	Cup bushing tidak ada	Rusak	Tidak ada
	Terminasi dan Kebersihan Arrester		Mur baut kencang, Bersih	Mur baut kencang, Kotor	Mur baut kendur, Bersih	Mur baut kendur, Kotor
	Arus Bocor	µA	<90	90 - <=100	100 - <=120	>120
Trafo Distribusi	Kebocoran Minyak Trafo		Bersih	Packing Retak	Packing Retak Berminyak	Rember/Tetes
	Kondisi Fisik Trafo		Mulus	Cacat Srip Minor	Cacat Srip Major	Bengkok
	Penghalang Binatang		Ada, kondisi baik	Ada, kondisi kurang baik	Tidak ada, tidak dibutuhkan	Tidak ada, dibutuhkan
	Thermo Body Trafo	°C	T<83	83 < T < 85	85 < T < 90	>=90
	Thermo Bushing LV	°C	T<10	10 < T < 12	12 < T < 15	>=15
	Thermo Bushing MV	°C	T<10	10 < T < 12	12 < T < 15	>=15
	Pembebaana Trafo	%	<60	60 - < 80	80 - <100	>=100
	Ketidakeimbangan Arus Beban	%	<10	10 - < 20	20 - <25	>=25
	Tahanan Isolasi Trafo	MΩ	>30	20 - >= 30	<20 - <=10	<10
PHB TR	Kebisingan Trafo	dB	<50 dB	50 - < 55 dB	>= 55 dB - 60 dB	>60 dB
	Grounding Trafo	Ω	<1.7	<1.7 - <5	>5 - <10	>=10
	Kondisi Low Voltage		Box bersih, instalasi rapi	Box kotor, instalasi rapi	Box karatan, instalasi rapi	Box karatan, instalasi buruk
PHB TR	Kesesuaian Ampere NH Fuse		Sesuai standar	Deviasi 1 tingkat di atas standar	Deviasi 2 tingkat di atas standar	Fuse TR tidak ada (bypass)
	Pipa Infur/Outfur		Pipa infur/outfur ada, Lbow lengkap	Pipa infur/outfur ada, Lbow tidak ada	Salah satu pipa infur/outfur tidak ada	Pipa infur/outfur tidak ada
	Switch PHB TR		Switch berfungsi dengan baik	Switch handle patah	Switch rusak/terminasi kendur	Switch PHB TR tidak ada
	Penghalang binatang		Ada, kondisi baik	Ada, kondisi kurang baik	Tidak ada, tidak dibutuhkan	Tidak ada, dibutuhkan
	Pembebanan arus TR terhadap KHA Outlet	%	<60	60 - <80	80 - <100	>=100
	Besar arus netral TR terhadap arus beban trafo	%	<10	10 - <15	15 - <20	>=20
	Pengukuran Tegangan	V	Sesuai Standar	Naik <5% / Turun <10%	Naik 5% / Turun <10%	Naik >5% / Turun <10%
	Grounding	Ω	<1.7	<1.7 - <5	5 - <10	>=10
	Thermo Terminal PHB TR	°C	T<83	83< T <85	85< T <90	>=90

**2.3.1 Scoring**

Sistem *scoring* digunakan untuk mengkategorikan kondisi

gardu distribusi ke dalam beberapa level. Tingkat skor ditentukan dengan menggunakan batas sesuai dengan standar pemeliharaan gardu distribusi yaitu Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 17 tahun 2014 dan rekomendasi dari manager aset. Pada penelitian ini kondisi gardu distribusi diklasifikasikan menjadi 4 level yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk. Kondisi “baik” menggambarkan bahwa peralatan dalam kondisi normal dan tidak perlu adanya perhatian khusus, yang memiliki skor 3. Kondisi “cukup” menggambarkan peralatan dalam kondisi normal namun perlu adanya perhatian, yang memiliki skor 2. Kondisi “kurang” menggambarkan bahwa peralatan dalam kondisi *upnormal* dan harus mendapatkan perhatian khusus, yang memiliki skor 1. Kondisi “buruk” menggambarkan peralatan dalam kondisi *upnormal* dan memerlukan perawatan segera mungkin, yang memiliki skor 0.

### 2.3.2 Weighting

Faktor pembobotan (*weighting*) merupakan faktor yang penting untuk menentukan tingkat kepentingan pada parameter tertentu yang mempengaruhi nilai health index [14]. Faktor pembobotan dapat sama atau bervariasi sesuai dengan parameter yang digunakan pada penilaian kondisi gardu distribusi. Pada penelitian ini faktor pembobotan akan dianggap 1.

### 2.3.3 Agregation

Setelah dua tahap sebelumnya yaitu *scoring* dan *weighting* dilakukan, tahap selanjutnya adalah *agregation*. Tahap *agregation* merupakan perhitungan dari semua parameter untuk menentukan hasil akhir dari indeks kesehatan gardu distribusi sehingga dapat diurutkan prioritas pemeliharaan gardu distribusi berdasarkan kondisinya. Terdapat beberapa cara untuk menghitung *scoring matrix* berdasarkan CIGRE 761 (2019) [15]. Pada penelitian ini akan digunakan persamaan *weight-average* dengan memberikan pembobotan pada tiap parameter, setelah itu bobot nilai dirata-rata untuk mendapatkan indeks kesehatan gardu distribusi. Persamaan *weight-average* tersaji pada persamaan (2-6).

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2-6)$$

SM = Scoring Matrix

Si = Nilai parameter *scoring*

Wi = Nilai parameter *weighting*

Metode agregasi telah banyak digunakan dalam penelitian terdahulu. Jumlah parameter yang digunakan dinyatakan oleh n dan penilaian skor sebuah parameter dinyatakan dalam Si. Setiap parameter selain memiliki skor penilaian (Si), juga memiliki nilai *weighting* (Wi) pada tiap parameter. Nilai Wi tergantung pada faktor keberpengaruhannya suatu parameter terhadap indeks tersebut[16]. Penilaian setiap parameter akan menghasilkan sebuah indeks kesehatan gardu distribusi yang nantinya akan dikonversikan ke kategori *High*, *Medium*, dan *Low* seperti terlihat pada Tabel 2.2 [17].

TABEL 2.2 KLASIFIKASI NILAI INDEKS KESEHATAN GARDU DISTRIBUSI

Health Index Substation (%HI <sub>sub</sub> )			
%HI <sub>sub</sub>	Condition of Sub	Action	Color
81 - 100	High	Good	Green
51 - 80	Medium	Normal Maintenance	Yellow
0 - 50	Low	Repair	Red

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Assessment Kondisi Gardu Distribusi

Hasil penilaian kondisi gardu distribusi terlihat pada Tabel 3.1 yang merupakan hasil *assessment* gardu distribusi yang berada pada wilayah PT PLN UP3 Surabaya Utara tahun 2022 dan 2023.

TABEL 3.1 HASIL ASSESSMENT GARDU DISTRIBUSI

Kode Gardu	Daya kVA	Fuse Cut Out (FCO)		
		Kondisi FCO	Terminasi dan kebersihan	Thermovision
A	250	Lengkap	Mur baut kencang, bersih	
B	100	Lengkap	Mur baut kencang, bersih	
C	100	Lengkap	Mur baut kencang, bersih	
D	100	Lengkap	Mur baut kendur, kotor	

Kode Gardu	Daya kVA	Arrester		
		Kondisi Arrester	Terminasi dan kebersihan	Arus Bocor (µA)
A	250	Lengkap	Mur baut kencang, bersih	2.38
B	100	Lengkap	Mur baut kencang, bersih	0.35
C	100	Tidak ada		
D	100	Tidak ada		

Kode Gardu	Daya kVA	Transformator Distribusi					
		Kebocoran minyak	Kondisi fisik	Penghalang binatang	Ther movisi Body	Ther movisi Bushing LV	Ther movisi Bushing MV
A	250	Bersih	Mulus	Ada, kondisi baik			
B	100	Bersih	Mulus	Ada, kondisi baik			
C	100	Bersih	Mulus	Ada, kondisi baik			
D	100	Bersih	Mulus	Ada, kondisi baik			

Kode Gardu	Daya kVA	Transformator Distribusi				
		Pembeban an trafo	Ketidakeimbangan arus beban	Tahan an isolasi	Kebising an	Grounding
A	250	20%	67%			3.74 Ohm
B	100	28%	13%			0.06 Ohm
C	100	52%	71%			4.66 Ohm
D	100	42%	34%			6.35 Ohm

Kode Gardu	Daya kVA	Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah				
		Kondisi Low voltage	Kesesuaian amper NH fuse	Pipa infur/outfur	Switch PHBTR	Penghalang binatang
A	250	box bersih, ins talasi rapi	Sesuai Standar	pipa infur/outfur ada, Lbow lengkap	Switch berfungsi dengan baik	Ada, Kondisi baik
B	100	box bersih, ins talasi rapi	Sesuai Standar	pipa infur/outfur ada, Lbow lengkap	Switch berfungsi dengan baik	Ada, Kondisi baik
C	100	box bersih, ins talasi rapi	Sesuai Standar	pipa infur/outfur ada, Lbow lengkap	Switch berfungsi dengan baik	Ada, Kondisi baik
D	100	box bersih, ins talasi rapi	Sesuai Standar	pipa infur/outfur ada, Lbow lengkap	Switch berfungsi dengan baik	Tidak ada, dibutuhkan

Kode Gardu	Daya kVA	Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah				
		Pembeban an arus TR terhadap KHA	Besar arus netral terhadap arus beban trafo	Pengukuran tegangan	Grounding	Thermovisi PHB TR
A	250	16%	62%	Naik <5% /Turun <10%	3.74 Ohm	
B	100	23%	28%	Naik <5% /Turun <10%	0.06 Ohm	
C	100	26%	57%	Naik <5% /Turun <10%	4.66 Ohm	
D	100	34%	66%	Naik <5% /Turun <10%	6.35 Ohm	

### 3.2 Penilaian Tiap-Tiap Parameter Hasil Assessment Gardu Distribusi

Dari hasil *assessment* gardu distribusi pada Tabel 3.1, dapat dianalisis terkait tiap-tiap parameter penilaian kondisi gardu distribusi berdasarkan Surat Edaran Direksi PT PLN (Persero) No. 17 tahun 2014, Standar, dan rekomendasi manager aset. Sebagai contoh penilaian, diambil data *assessment* pada gardu distribusi A dan C.

Hasil *assessment* komponen *fuse cut out* diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan parameternya. Penilaian ditinjau dari Tabel 3.1 pada bagian *fuse cut out* yang nantinya dibagi menjadi empat kategori yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk. Berdasarkan penilaian dari komponen *fuse cut out*, gardu distribusi A dan C secara keseluruhan dinilai masih dalam kondisi layak operasi karena tidak ada tanda-tanda anomali sehingga tidak diperlukan perhatian lebih untuk komponen *fuse cut out*. Meskipun begitu, pemeliharaan secara berkala harus selalu dilakukan untuk memastikan *fuse cut out* dalam kondisi optimal.

Hasil *assessment* pada komponen *lightning arrester* dibagi menjadi tiga klasifikasi berdasarkan parameternya. Penilaian ditinjau dari Tabel 3.1 pada bagian *lightning arrester* yang nantinya dibagi menjadi empat kategori yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk. Berdasarkan penilaian dari komponen *lightning arrester*, gardu distribusi A secara keseluruhan dinilai masih dalam kondisi layak operasi karena tidak ada tanda-tanda anomali sehingga tidak diperlukan perhatian lebih komponen *lightning arrester*. Meskipun begitu, pemeliharaan secara berkala harus selalu dilakukan untuk memastikan *lightning arrester* dalam kondisi optimal. Sedangkan pada gardu distribusi C harus dilakukan pemasangan *lightning arrester* sesegera mungkin untuk pengaman terhadap gangguan surja pada gardu distribusi.

Hasil *assessment* pada komponen transformator distribusi dibagi menjadi 11 klasifikasi berdasarkan parameternya. Penilaian ditinjau dari Tabel 3.1 pada bagian transformator distribusi yang nantinya dibagi menjadi empat kategori yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk. Berdasarkan penilaian dari komponen transformator gardu distribusi A dan C, secara visual keseluruhan dinilai masih dalam kondisi layak operasi karena tidak ada tanda-tanda anomali, namun pada transformator gardu distribusi A dan C terdapat ketidakseimbangan arus beban yang besar dan menunjukkan adanya pembagian pembebanan yang tidak merata. Hal ini dapat menyebabkan mengalirnya arus netral, *overload* pada salah satu fasa, dan drop tegangan pada ujung saluran sehingga diperlukan peyeimbangan beban yang merata untuk menekan ketidakseimbangan [3].

Hasil *assessment* pada komponen perangkat hubung bagi tegangan rendah (PHB TR) dibagi menjadi 10 klasifikasi berdasarkan parameternya. Penilaian ditinjau dari Tabel 3.1 pada bagian PHB TR yang nantinya dibagi menjadi empat kategori yaitu baik, cukup, kurang, dan buruk. Berdasarkan penilaian dari komponen PHB TR pada gardu distribusi A dan C, secara visual keseluruhan dinilai masih dalam kondisi layak operasi karena tidak ada tanda-tanda anomali, namun pada keduanya terdapat arus netral yang besar yang mana menunjukkan dampak dari ketidakseimbangan sehingga diperlukan peyeimbangan beban yang merata untuk menekan tingginya arus netral [3].

### 3.3 Indeks Kesehatan Gardu Distribusi Berdasarkan Hasil Perhitungan Scoring Matrix

Langkah penilaian selanjutnya untuk mengetahui indeks kesehatan gardu distribusi dapat dilakukan dengan menghitung indeks kesehatan gardu distribusi berdasarkan parameter-parameter pengujian. Berdasarkan hasil *assessment* gardu distribusi di wilayah PT PLN UP3 Surabaya Utara yang tersaji pada Tabel 3.1, selanjutnya dilakukan tahapan *scoring* dan *weighting* yang terlihat pada Tabel 3.2.

TABEL 3.2 HASIL SCORING BERDASARKAN ASSESSMENT GARDU DISTRIBUSI

Kode Gardu	Daya kVA	Fuse Cut Out		
		Kondisi FCO	Terminasi dan kebersihan	Thermovision
A	250	3	3	
B	100	3	3	
C	100	3	3	
D	100	3	3	

Kode Gardu	Daya kVA	Arrester		
		Kondisi Arrester	Terminasi dan kebersihan	Arus Bocor (mA)
A	250	3	3	3
B	100	3	3	3
C	100	0		
D	100	0		

Kode Gardu	Daya kVA	Transformator Distribusi					
		Kebocoran minyak	Kondisi fisik	Penghalang binalang	Thermo visi Body	Thermo visi Bushing LV	Thermo visi Bushing MV
A	250	3	3	3	3		
B	100	3	3	3	3		
C	100	3	3	3			
D	100	3	3	3			

Kode Gardu	Daya kVA	Transformator Distribusi				
		Pembebanan trafo	Ketidakseimbangan arus beban	Tahanan isolasi	Kebisingan	Grounding
A	250	3	0			2
B	100	3	2			3
C	100	3	0			2
D	100	3	0			1

Kode Gardu	Daya kVA	Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah				
		Kondisi Low voltage	Kesesuaian amper NH fuse	Pipa infur/outfur	Switch PHBTR	Penghalang binalang
A	250	3	3	3	3	3
B	100	3	3	3	3	3
C	100	3	3	3	3	0
D	100	3	3	3	3	3

Kode Gardu	Daya kVA	Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah				
		Pembebanan arus TR terhadap KHA	Besar arus netral terhadap arus beban trafo	Pengukuran tegangan	Grounding	Thermovisi PHB TR
A	250	3	0	2	2	
B	100	3	0	2	3	
C	100	3	0	2	2	
D	100	3	0	2	1	

Berdasarkan hasil *assessment* gardu distribusi A, dilakukan perhitungan indeks kesehatan sebagai berikut.

#### Gardu Distribusi A

*Fuse cut out* :

- Kondisi fuse cut out = 3
- Terminasi dan kebersihan = 3
- Thermovision =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3 \times 1 + 3 \times 1 + 3 \times 1}{3 \times 1 + 3 \times 1 + 3 \times 1} = 1$$

*Lightning arrester* :

- Kondisi lightning arrester = 3
- Terminasi dan kebersihan = 3
- Arus bocor = 3

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3 \times 1 + 3 \times 1}{3 \times 1 + 3 \times 1} = 1$$

Transformator Distribusi :

- Kebocoran minyak trafo = 3
- Kondisi fisik trafo = 3
- Penghalang binatang = 3
- Thermo body = 3
- Thermo LV =
- Thermo MV =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 0x1 + 2x1}{3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1} = 0.8095$$

Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah :

- Kondisi *low voltage* = 3
- Kesesuaian amper NH = 3
- Pipa infur/outfur = 3
- Switch PHB TR = 3
- Penghalang binatang = 3
- Pembebanan arus TR Terhadap KHA outlet = 3
- Besar arus netral = 0
- Pengukuran tegangan = 2
- Grounding = 2
- Thermo terminal PHB =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+0x1+2x1+2x1}{3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1} = 0,8148$$

**Indeks Kesehatan Final (HI Final)**

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \times 100\% = \frac{1x1+1x1+0.8095x1+0.8148x}{1+1+1+1} = 90.608\%$$

Berdasarkan hasil *assessment* gardu distribusi C, dilakukan perhitungan indeks kesehatan sebagai berikut.

**Gardu Distribusi C**

*Fuse cut out* :

- Kondisi *fuse cut out* = 3
- Terminasi dan kebersihan = 3
- Thermovision =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3x1+3x1}{3x1+3x1} = 1$$

*Lightning arrester* :

- Kondisi *lightning arrester* = 0
- Terminasi dan kebersihan =
- Arus bocor =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{0x1}{3x1} = 0$$

Transformator Distribusi :

- Kebocoran minyak trafo = 3
- Kondisi fisik trafo = 3
- Penghalang binatang = 3
- Thermo body =
- Thermo LV =
- Thermo MV =
- Pembebanan trafo = 3
- Ketidakseimbangan arus beban = 0
- Tahanan isolasi =
- Kebisingan =
- Grounding = 2

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 0x1 + 2x1}{3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1 + 3x1} = 0.7778$$

Perangkat Hubung Bagi Tegangan Rendah :

- Kondisi *low voltage* = 3
- Kesesuaian amper NH = 3
- Pipa infur/outfur = 3
- Switch PHB TR = 3
- Penghalang binatang = 0
- Pembebanan arus TR Terhadap KHA outlet = 3
- Besar arus netral = 0
- Pengukuran tegangan = 2

- *Grounding* = 2
- Thermo terminal PHB =

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n S_{max} W_i} = \frac{3x1+3x1+3x1+3x1+0x1+3x1+0x1+2x1+2x1}{3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1+3x1} = 0.7037$$

**Indeks Kesehatan Final (HI Final)**

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \times 100\% = \frac{1x1+0x1+0.7778x1+0.7037x1}{1+1+1+1} = 62.037\%$$

**3.4 Evaluasi Hasil**

Setelah dilakukan analisis pada tiap parameter dan diketahui indeks kesehatan gardu distribusi menggunakan metode *scoring matrix*, sehingga diketahui kondisi masing-masing gardu distribusi. Selanjutnya adalah melakukan evaluasi hasil dengan memvalidasi hasil perhitungan dengan kondisi gardu distribusi sesungguhnya yang ada di lapangan. Berdasarkan penilaian tiap-tiap parameter indeks kesehatan gardu distribusi A, komponen *fuse cut out* dan *lightning arrester* memiliki indeks 1, komponen transformator distribusi memiliki indeks 0,8095, dan komponen PHB TR memiliki indeks 0,8141, sehingga didapatkan indeks kesehatan gardu distribusi sebesar 90,608% dan termasuk dalam kategori *High*. Pada gardu distribusi C, komponen *fuse cut out* memiliki indeks 1, *lightning arrester* memiliki indeks 0, komponen transformator distribusi memiliki indeks 0,7778, dan komponen PHB TR memiliki indeks 0,7037, sehingga didapatkan indeks kesehatan gardu distribusi sebesar 62,037% dan termasuk dalam kategori *Medium*.

Setelah melakukan perhitungan indeks kesehatan, maka dapat diimplementasikan perhitungan serupa terhadap beberapa gardu distribusi dan disajikan dalam Tabel 3.3 sebagai berikut.

TABEL 3.3 HASIL HEALTH INDEX DARI BEBERAPA GARDU DISTRIBUSI

Kode Gardu	Daya kVA	Score FCO	Score Arrester	Score Transformator Distribusi	Score PHB TR	HI Final
A	250	1	1	0.8095	0.8148	90.608%
B	100	1	1	0.9524	0.8519	95.106%
C	150	1	0	0.7778	0.7037	62.037%
D	250	1	0	0.7222	0.7778	62.500%

Berdasarkan Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan *health index* keempat gardu distribusi, gardu distribusi A dan B memiliki nilai *health index* pada rentang nilai 81-100% dan gardu distribusi C dan D memiliki nilai *health index* pada rentang nilai 51-80%. Berdasarkan kategori nilai HI menurut Tabel 2.2, maka gardu distribusi A dan B termasuk dalam kondisi *good* sehingga direkomendasikan untuk melanjutkan beroperasi dan pemeliharaan secara periodik. Sedangkan gardu distribusi C dan D termasuk dalam kondisi *medium* sehingga direkomendasikan untuk beroperasi, namun memerlukan perhatian untuk dilakukan pemeliharaan dalam waktu tertentu.

Gardu distribusi yang memerlukan penanganan lebih lanjut atau pemeliharaan sesegera mungkin adalah gardu distribusi yang memiliki indeks kesehatan di bawah kategori *high* dan *medium* yaitu termasuk dalam kategori *low*. Gardu distribusi yang termasuk dalam kategori *low* memiliki nilai indeks kesehatan dalam rentang 0-50%, sehingga gardu distribusi harus segera dilakukan perbaikan maupun penggantian untuk menghindari kegagalan operasi.

**4. Kesimpulan**

Penelitian ini mengembangkan metode *scoring matrix* untuk menilai kondisi gardu distribusi berdasarkan *health index* dengan

berbagai macam parameter penilaian. Komponen gardu yang dinilai yaitu *ffuse cut out*, arrester, transformator distribusi, dan PHB-TR. Hasil analisis dari empat gardu distribusi (A, B, C, D) menunjukkan bahwa gardu distribusi A dan B menghasilkan indeks kesehatan >80%. Kedua gardu distribusi tersebut tergolong dalam kategori *high*, sehingga direkomendasikan untuk melanjutkan beroperasi secara normal dan pemeliharaan secara periodik sesuai jadwal pemeliharaan.

Sedangkan gardu distribusi C dan D mendapatkan indeks kesehatan <=80% dan >50%. Kedua gardu distribusi tersebut termasuk dalam kategori *medium*, sehingga direkomendasikan untuk beroperasi, namun memerlukan perhatian untuk dilakukan pemeliharaan dalam waktu tertentu. Penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dan menunjukkan pentingnya mengetahui indeks kesehatan komponen gardu distribusi untuk meningkatkan keandalan penyaluran di saluran distribusi. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan dengan mengaplikasikan metode tersebut secara praktis pada gardu distribusi di Indonesia. Hasil yang diperoleh mendukung temuan sebelumnya, bahwa pendekatan berbasis *scoring matrix* dapat meningkatkan efisiensi manajemen aset dalam konteks distribusi listrik.

Kedepannya, perlu dilakukan penentuan bobot, kemudian melakukan validasi, evaluasi hasil, dan mengimplementasikan ke sistem yang lebih luas.

#### Referensi

- [1] Masnur, "Aplikasi Sistem Pengendali Energi Listrik Menggunakan Raspberri pada Smart Building," *J. Sintaks Log.*, vol. 1, no. 2, pp. 103–106, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.umpar.ac.id/index.php/sylog/103>
- [2] W. P. Perdana, R. N. Hasanah, and H. S. Dachlan, "Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing," vol. III, no. 1, pp. 6–12, 2009.
- [3] S. Hidayat, S. Legino, and N. F. Mulyanti, "Penyeimbangan beban pada jaringan tegangan rendah gardu distribusi cd 33 penyulang sawah di Pt Pln (Persero) Area Bintaro," *J. Ilm. sutet*, vol. 8, no. 1, pp. 21–27, 2018, [Online]. Available: <https://stt-pln-ejournal.id/sutet/article/view/712>
- [4] I. G. N. S. Hernanda, A. C. Mulyana, D. A. Asfani, I. M. Y. Negara, and D. Fahmi, "Application of health index method for transformer condition assessment," *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, vol. 2015-Janua, no. July 2015, 2015, doi: 10.1109/TENCON.2014.7022433.
- [5] R. A. Prasajo, L. Safarina, A. F. P. Islam, R. Duanaputri, M. Mieftah, and E. Yulianto, "Implementasi Metode Scoring Matrix dalam Menentukan Indeks Kondisi Minyak Isolasi pada Transformator Daya 150 kV," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 36–41, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.717.
- [6] T. Setiawan, Syukri, and Muliadi, "Kajian Pemeliharaan Trafo Distribusi Menggunakan Metode Condition Based Maintenance (CBM)," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 18–23, 2022.
- [7] R. A. Prasajo, Suwarno, and A. Abu-Siada, "Dealing with Data Uncertainty for Transformer Insulation System Health Index," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 74703–74712, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3081699.
- [8] W. R. Tamma, R. A. Prasajo, and Suwarno, "High voltage power transformer condition assessment considering the health index value and its decreasing rate," *High Volt.*, vol. 6, no. 2, pp. 314–327, 2021, doi: 10.1049/hve2.12074.
- [9] R. Azis Prasajo, Suwarno, N. Ulfa Maulidevi, and B. Anggoro Soedjarno, "A Multiple Expert Consensus Model for Transformer Assessment Index Weighting Factor Determination," *Proceeding - 8th Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2020*, no. Cmd, pp. 234–237, 2020, doi: 10.1109/CMD48350.2020.9287198.
- [10] R. Sembiring and H. Aryza, Solly, "Analyzing (Condition Based Maintenance) Level 1 On Substation Equipment PT. PLN Persero Berastagi," *J. Infokum*, vol. 10, no. 1, pp. 451–460, 2021, [Online]. Available: <http://infor.seaninstitute.org/index.php/infokum/index>
- [11] S. A. Hidayat, N. A. Mardiyah, and N. Setyawan, "Klasterisasi Kualitas Kesehatan Gardu Distribusi Pada PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Kota Malang Dengan Kohonen Neural Network (KNN)," *PoliGrid*, vol. 3, no. 1, p. 33, 2022, doi: 10.46964/poligrd.v3i1.1487.
- [12] W. R. Tamma, R. A. Prasajo, and S. Suwarno, "Assessment of High Voltage Power Transformer Aging Condition Based on Health Index Value Considering Its Apparent and Actual Age," *ICITEE 2020 - Proc. 12th Int. Conf. Inf. Technol. Electr. Eng.*, pp. 292–296, 2020, doi: 10.1109/ICITEE49829.2020.9271778.
- [13] S. S. M. Ghoneim and I. B. M. Taha, "Comparative study of full and reduced feature scenarios for health index computation of power transformers," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 181326–181339, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3028689.
- [14] S. Liu, Z. Liu, Y. Zhang, Y. Cao, J. Li, and C. Hou, "Application of AHP and Grey Correlation Analysis in the Study of Electric Life of Vacuum Circuit Breaker," *Proc. - Int. Symp. Discharges Electr. Insul. Vacuum, ISDEIV*, vol. 2, pp. 555–558, 2018, doi: 10.1109/DEIV.2018.8536987.
- [15] 761 CIGRE, *Condition assessment of power transformers*, no. March. 2019. doi: 10.1201/9781420015393-5.
- [16] R. A. Prasajo, A. Setiawan, Suwarno, N. U. Maulidevi, and B. Anggoro Soedjarno, "Development of Analytic Hierarchy Process Technique in Determining Weighting Factor for Power Transformer Health Index," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, no. October, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011040.
- [17] K. Witchawut, P. Fuangpian, T. Suwanasri, and C. Suwanasri, "Condition Assessment of a Gas Insulated Substation," *IEEECON 2018 - 6th Int. Electr. Eng. Congr.*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/IEEECON.2018.8712240.