E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3039-3050
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Evaluasi Kelayakan Pelapisan *Silicone Rubber* pada Isolator *Longrod* SUTT 150 kV Sanur–Gianyar Berdasarkan Aspek Pemeliharaan

Sinung Rachman[1], Syamsir Abduh[2]

[1,2]Program Studi Magister Teknik Elektro, Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi PLN, Indonesia
e-mail: sinung2410008@itpln.ac.id

Abstrak

Isolator *longrod* pada saluran udara tegangan tinggi 150 kV di kawasan pesisir rentan terhadap polusi dan kelembapan sehingga memerlukan strategi pemeliharaan yang efektif. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja teknis isolator keramik berlapis RTV *silicone rubber*, keramik tanpa pelapisan, dan polimer; membandingkan kelayakan ekonomi ketiganya melalui biaya siklus hidup dan manfaat pengurangan gangguan; serta menentukan kelayakan pelapisan RTV berdasarkan integrasi aspek teknis dan ekonomi. Penelitian menggunakan desain komparatif *cross-sectional* pada lima tower saluran Sanur–Gianyar dengan parameter tahanan isolasi, arus bocor, intensitas korona, dan kenaikan suhu permukaan. Analisis ekonomi menggunakan horizon 15 tahun dan tingkat diskonto 8%. Dibandingkan keramik tanpa pelapisan, RTV menurunkan arus bocor rata-rata 32,11%, intensitas korona 97,77%, dan kenaikan suhu 80,67%, tetapi tahanan isolasinya 74,07% lebih rendah. Setelah biaya gangguan dimasukkan, biaya siklus hidup keramik tanpa pelapisan, RTV, dan polimer masing-masing sebesar Rp5.890.308.658, Rp2.526.404.904, dan Rp2.769.704.904, dengan nilai kini bersih penghematan RTV Rp3.363.903.753 dan rasio manfaat terhadap biaya 2,33. Indeks kelayakan gabungan sebesar 81,47 untuk polimer, 71,84 untuk RTV, dan 20,72 untuk keramik tanpa pelapisan. Dengan demikian, isolator polimer menjadi alternatif penggantian terbaik, sedangkan pelapisan RTV layak diterapkan secara bersyarat sebagai strategi *retrofit* dengan pemantauan kondisi lapisan secara berkala.

Kata kunci: *isolator longrod, RTV silicone rubber, arus bocor, biaya siklus hidup, kelayakan*

Abstract

Longrod insulators on 150 kV overhead transmission lines in coastal areas are vulnerable to pollution and humidity and therefore require effective maintenance strategies. This study aimed to compare the technical performance of RTV silicone rubber-coated ceramic, uncoated

ceramic, and polymer insulators; to compare their economic feasibility through life cycle cost and outage-cost reduction; and to determine the feasibility of RTV coating by integrating technical and economic aspects. A cross-sectional comparative design was applied at five towers of the Sanur–Gianyar line, using insulation resistance, leakage current, corona intensity, and surface temperature rise as parameters. The economic analysis used a 15-year horizon and an 8% discount rate. Compared with uncoated ceramic insulators, RTV coating reduced the average leakage current by 32.11%, corona intensity by 97.77%, and temperature rise by 80.67%, but its insulation resistance was 74.07% lower. After outage costs were included, the life cycle costs of uncoated ceramic, RTV-coated, and polymer insulators were IDR 5,890,308,658, IDR 2,526,404,904, and IDR 2,769,704,904, respectively, with a net present value saving of IDR 3,363,903,753 and a benefit-cost ratio of 2.33 for RTV coating. The integrated feasibility index was 81.47 for polymer, 71.84 for RTV coating, and 20.72 for uncoated ceramic. Therefore, polymer insulators are the best replacement option, whereas RTV coating is conditionally feasible as a retrofit strategy with periodic monitoring of coating condition.

Keywords: *longrod insulator, RTV silicone rubber, leakage current, life cycle cost, feasibility*

PENDAHULUAN

Keandalan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV menentukan kontinuitas penyaluran daya dari pusat pembangkit ke pusat beban. Isolator berperan penting dalam keandalan tersebut karena memisahkan konduktor bertegangan dari menara yang ditanahkan sekaligus menahan tegangan lebih dan kondisi lingkungan. Di kawasan pesisir, permukaan isolator terpapar kabut garam, debu, dan polutan lain yang menurunkan kekuatan dielektrik, meningkatkan arus bocor, dan memicu *flashover*. Kondisi ini menuntut strategi pemeliharaan yang efektif selama umur layan saluran (Fauziah et al., 2017).

Jalur SUTT 150 kV Sanur–Gianyar merupakan saluran penting dalam sistem kelistrikan Bali yang melintasi kawasan pesisir dengan kelembapan tinggi (Pemerintah Provinsi Bali, 2023). Praktik pemeliharaan yang telah diterapkan pada jalur ini meliputi pembersihan rutin isolator *longrod* keramik serta penggantian isolator yang rusak atau berkorosi. Meskipun demikian, risiko gangguan akibat penurunan kinerja isolator dalam jangka panjang masih ada.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pelapisan *silicone rubber* RTV pada isolator keramik atau kaca meningkatkan hidrofobisitas permukaan, menurunkan arus bocor, dan meningkatkan ketahanan terhadap polusi sehingga berpotensi mengurangi gangguan dan kebutuhan pembersihan rutin (Suwarno & Pratomosiwi, 2009). Pelapis RTV pada isolator porselen juga dilaporkan memberikan perlindungan yang baik pada uji kabut garam selama 1.000 jam dengan kriteria tidak terjadi *flashover* dan erosi signifikan (Ilhan & Cherney, 2018).

Terdapat tiga solusi untuk mengatasi masalah lingkungan pada permukaan isolator, yaitu pencucian berkala, perbaikan desain isolator, dan pelapisan dengan bahan anti air (Nugroho et al., 2024; Suwarno et al., 2012). Namun, penerapan pelapisan pada jaringan eksisting memerlukan investasi awal, prosedur kerja khusus, dan penyesuaian strategi pemeliharaan, sedangkan kerusakan lapisan dapat memengaruhi kinerja *flashover* akibat polusi (Li et al., 2020).

Sebagian besar kajian tentang pelapis RTV masih berfokus pada sifat material, mekanisme hidrofobisitas, penuaan, ketahanan terhadap polusi, dan pengujian kelistrikan di laboratorium (Lei et al., 2023; Mahendra et al., 2025; Seyedmehdi et al., 2012). Kesenjangan penelitian terletak pada evaluasi lapangan yang menyatukan perbandingan teknis, kondisi penuaan, kebutuhan pemeliharaan, dan konsekuensi biaya pada lokasi yang setara. Evaluasi pelapis RTV juga perlu mengacu pada prinsip aplikasi, pemeliharaan, penuaan, dan evaluasi lapangan dalam IEEE Std 1523-2018, sedangkan pengukuran hidrofobisitas dapat merujuk pada IEC TS 62073:2016 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018; International Electrotechnical Commission, 2016).

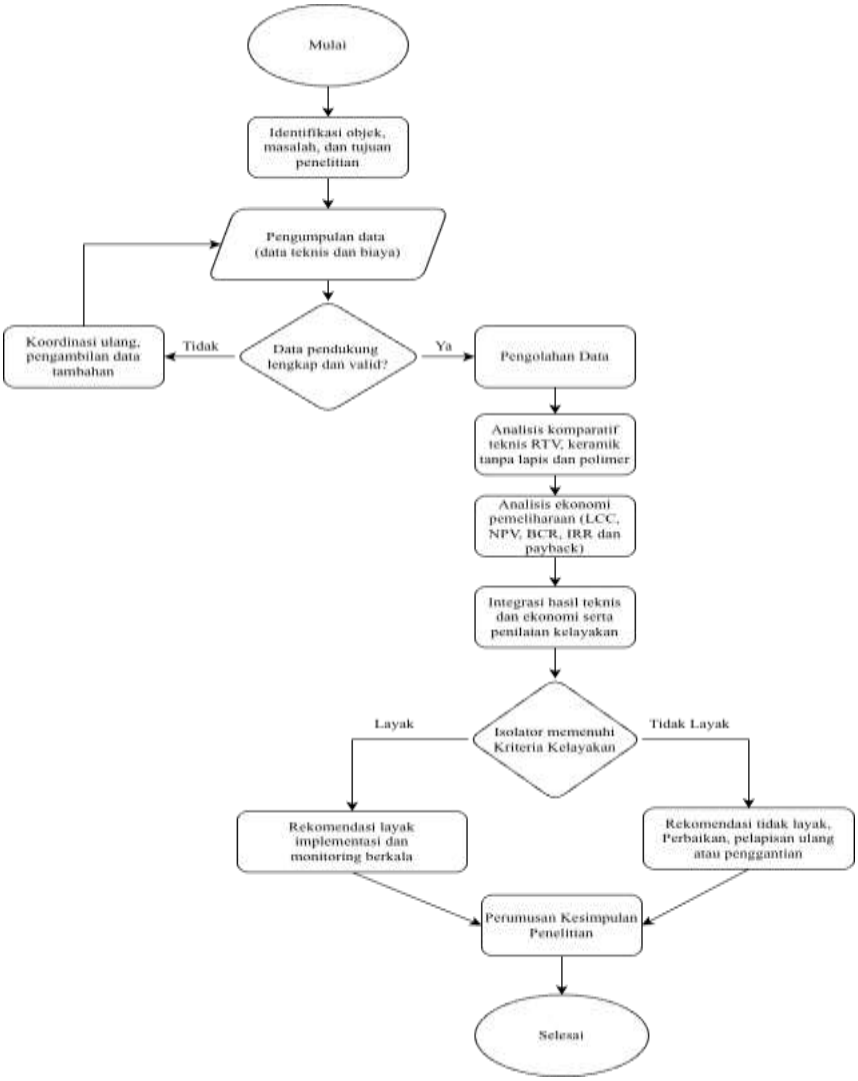
Kebaruan penelitian ini terletak pada kerangka evaluasi kelayakan berbasis indikator pemeliharaan yang menggabungkan empat hasil pengukuran lapangan pada lokasi tower yang sama, yaitu tahanan isolasi, arus bocor, intensitas korona, dan kenaikan suhu, dengan analisis biaya siklus hidup serta manfaat pengurangan gangguan. Tujuan penelitian ini adalah (1) membandingkan kinerja teknis isolator *longrod* keramik berlapis RTV *silicone rubber*, keramik tanpa pelapisan, dan polimer; (2) membandingkan kelayakan ekonomi ketiga alternatif melalui biaya siklus hidup dan manfaat pengurangan gangguan; serta (3) menentukan kelayakan pelapisan RTV berdasarkan integrasi aspek teknis dan ekonomi pada SUTT 150 kV Sanur–Gianyar.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain komparatif *cross-sectional*. Pengelompokan berdasarkan lokasi tower memungkinkan analisis berpasangan untuk mengurangi pengaruh perbedaan suhu lingkungan, kelembapan, dan karakteristik lokasi. Meskipun demikian, penelitian ini tidak menguji unit yang sama sebelum dan sesudah pelapisan. Alur penelitian disajikan pada Gambar 1.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3039-3050
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026



Gambar 1. Alur penelitian

Lokasi, Waktu, dan Subjek Penelitian

Penelitian dilakukan pada SUTT 150 kV Sanur–Gianyar di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Bali, tepatnya Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Bali Selatan. Jalur ini dipilih karena sebagian lintasannya berada dekat kawasan pesisir sehingga isolator terpapar kelembapan tinggi, aerosol garam, debu lalu lintas, dan kontaminasi lingkungan. Pengumpulan data lapangan dilakukan pada periode 2021–2025, sedangkan pengujian, pengolahan data, dan penyusunan laporan dilakukan pada tahun 2026.

Jalur tersebut terdiri atas 193 tower tipe tiang beton (*concrete pole*) tipe I dengan panjang sekitar 40,6 kilometer sirkit (kms) berupa sirkuit tunggal. Tower terdiri atas 60 tower tegangan (*tension*) dan 133 tower penyangga (*suspension*). Konduktor yang digunakan adalah ACCC Lisbon tunggal 187 mm^2 dengan arus maksimum sekitar 1.200 A per sirkuit. Isolator terpasang pada jalur ini berjenis keramik dan kaca. Unit analisis terdiri atas lima lokasi tower,

yaitu tower 41, 42, 51, 56, dan 58. Pada setiap lokasi dibandingkan tiga kelompok isolator *longrod* 150 kV, yaitu keramik berlapis RTV *silicone rubber*, keramik tanpa pelapisan, dan polimer.

Instrumen dan Pengumpulan Data

Data teknis dikumpulkan melalui pengukuran lapangan pada setiap kelompok isolator di lima lokasi tower. Parameter yang diukur adalah tahanan isolasi dan arus bocor pada tegangan uji 5 kV, 10 kV, dan 15 kV; intensitas korona dalam satuan hitungan per menit (*count*/menit); serta suhu permukaan isolator. Suhu permukaan diukur secara termografi menggunakan kamera inframerah FLIR seri T860 pada tower di kawasan pesisir Ketewel, Bali, bersama pencatatan jarak tower ke bibir pantai, suhu sekitar, dan kelembapan. Data ekonomi berupa biaya pembersihan, pelapisan, penggantian, dan biaya gangguan dikumpulkan untuk tiga skenario pemeliharaan.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam dua bagian, yaitu analisis teknis komparatif dan analisis ekonomi. Analisis teknis membandingkan nilai rata-rata setiap parameter pada kelompok isolator berlapis RTV, keramik tanpa pelapisan, dan polimer, dengan pasangan data ditentukan berdasarkan nomor tower yang sama. Kenaikan suhu (ΔT) dihitung sebagai selisih rata-rata suhu isolator terhadap suhu sekitar. Perubahan akibat pelapisan RTV dinyatakan sebagai persentase terhadap keramik tanpa pelapisan.

Analisis ekonomi membandingkan tiga skenario pada horizon 15 tahun dengan tingkat diskonto 8% (Rachmawati et al., 2018), yaitu (1) mempertahankan isolator keramik tanpa pelapisan dengan pembersihan rutin, (2) pelapisan RTV *silicone rubber*, dan (3) penggantian dengan isolator polimer. Indikator yang dihitung meliputi *life cycle cost* (LCC), nilai kini bersih (*net present value*, NPV) penghematan, rasio manfaat terhadap biaya (*benefit-cost ratio*, BCR), *internal rate of return* (IRR), periode pengembalian sederhana dan terdiskonto, serta biaya tahunan ekuivalen (*equivalent annual cost*, EAC).

Hasil teknis dan ekonomi diintegrasikan menjadi indeks kelayakan (*Feasibility Index*). *Overall Health Index* (OHI) teknis dihitung melalui normalisasi min–maks terhadap 15 observasi, sedangkan *Economic Index* dihitung dari LCC yang telah memasukkan biaya gangguan. Indeks kelayakan diperoleh dengan bobot 70% untuk OHI dan 30% untuk *Economic Index*. Hasil dinyatakan dalam kategori teknis (baik, cukup, buruk) dan status kelayakan (layak, cukup layak, tidak layak).

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 3039-3050
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Hasil pengukuran tahanan isolasi pada isolator *longrod* di lima lokasi tower disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi tahanan isolasi pada isolator *longrod* eksisting

Nomor Tiang	Isolator *Longrod* yang berlapis *silicone rubber* (GΩ)			Isolator *Longrod* jenis keramik (GΩ)			Isolator *Longrod* jenis *polymer* (GΩ)		
	Tegangan Uji			Tegangan Uji			Tegangan Uji		
	5 kV	10 kV	15 kV	5 kV	10 kV	15 kV	5 kV	10 kV	15 kV
41	37,8	36,5	29,3	174,4	161,0	141,2	350	263	173,5
42	43,6	41,6	39,8	131	128,2	110	281	220,2	190,9
51	38,2	34,2	31,4	141	138,2	129,1	330,2	293,5	205,3
56	29,2	26,4	27,4	158,4	147	126	320,7	260	220,9
58	53,4	52,6	51,2	183,8	177,2	161,9	440	388,6	331,2

Rata-rata tahanan isolasi isolator keramik berlapis *silicone rubber* adalah 40,44 GΩ pada 5 kV, 38,26 GΩ pada 10 kV, dan 35,82 GΩ pada 15 kV. Isolator keramik tanpa pelapisan memiliki rata-rata 157,72 GΩ, 150,32 GΩ, dan 133,64 GΩ, sedangkan isolator polimer memiliki rata-rata tertinggi, yaitu 344,38 GΩ, 285,06 GΩ, dan 224,36 GΩ pada tegangan uji yang sama. Pada seluruh tegangan uji, urutan tahanan isolasi dari tertinggi ke terendah adalah isolator polimer, keramik, dan keramik berlapis *silicone rubber*.

Hasil Pengukuran Intensitas Korona

Hasil pengukuran intensitas korona pada isolator yang berada dalam kondisi bertegangan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran intensitas korona

No	Keterangan	Pengukuran Pada Tiang					Rata-Rata (Count/Min)	Kategori
		41	42	51	56	58		
1	Isolator *Longrod* yang berlapis *silicone rubber*	75	95	80	115	65	86	Kondisional Pengujian
2	Isolator *Longrod* jenis keramik	6270	4655	3195	2815	2350	3857	Perlu dimonitoring
3	Isolator *Longrod* jenis *polymer*	30	45	30	30	20	31	Kondisional Pengujian

Rata-rata intensitas korona isolator keramik berlapis *silicone rubber* adalah 86 *count*/menit, isolator keramik tanpa pelapisan 3.857 *count*/menit, dan isolator polimer 31

count/menit. Dengan demikian, intensitas korona isolator keramik tanpa pelapisan jauh lebih tinggi daripada kedua kelompok lainnya dan dikategorikan perlu dimonitor.

Hasil Pengukuran Arus Bocor

Hasil pengukuran arus bocor pada tegangan uji 5 kV, 10 kV, dan 15 kV disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi arus bocor pada isolator *longrod*

Nomor Tiang	Isolator *Longrod* yang berlapis *silicone rubber* (µA)			Isolator *Longrod* jenis keramik (µA)			Isolator *Longrod* jenis *polymer* (µA)		
	Tegangan Uji			Tegangan Uji			Tegangan Uji		
	5 kV	10 kV	15 kV	5 kV	10 kV	15 kV	5 kV	10 kV	15 kV
41	13,5	28	52,2	29,2	63,3	108	14,2	38,8	88,2
42	15,3	34,5	70,2	30	58,2	90,2	12	22,8	55,2
51	21,7	37,1	76	33,6	61,2	89,1	15,9	27	51,9
56	19	31,8	77,7	22,5	65	93,7	10,8	34,1	54,8
58	23	41,7	80,2	34	68,1	70	20,7	68,9	90,9

Rata-rata arus bocor isolator keramik berlapis *silicone rubber* adalah 18,50 µA pada 5 kV, 34,62 µA pada 10 kV, dan 71,26 µA pada 15 kV. Isolator keramik tanpa pelapisan menghasilkan 29,86 µA, 63,16 µA, dan 90,20 µA, sedangkan isolator polimer menghasilkan 14,72 µA, 38,32 µA, dan 68,20 µA pada tegangan uji yang sama.

Hasil Pengukuran Suhu Permukaan Isolator

Hasil pengukuran termografi pada lima tower disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi suhu isolator berdasarkan jenis isolator

JUMLAH TOWER	JARAK TOWER KE BIBIR PANTAI (METER)	SUHU SEKITAR (°C)	KELEMBAPAN (%)	THERMOVISI (°C)		
				KERAMIK+*RUBBER*	KERAMIK	*POLYMER*
41	220	29,3	84	31,8	33,9	30,6
42	223	29,1	81	33,9	37,8	32,9
51	233	28,9	79	29,9	34,8	33,1
56	283	31,4	77	27,3	33,3	29,2
58	234	29,3	80	30,3	35,1	32
PERBEDAAN SUHU RATA-RATA				**4,5**	**6,6**	**3,9**

Suhu rata-rata isolator keramik berlapis *silicone rubber* adalah 30,64 °C, isolator keramik tanpa pelapisan 34,98 °C, dan isolator polimer 31,56 °C. Suhu permukaan terendah

dimiliki isolator berlapis *silicone rubber*, diikuti isolator polimer dan isolator keramik tanpa pelapisan.

Perbandingan Pengaruh Pelapisan RTV

Ringkasan perbandingan performa ketiga kelompok isolator dan perubahan akibat pelapisan RTV disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan perbandingan performa tiga kelompok isolator

Parameter	RTV berlapis	Keramik tanpa lapis	Polimer	Perubahan RTV vs tanpa lapis	Interpretasi
Tahanan isolasi rata-rata (GΩ)	38,17	147,23	284,60	−74,07%	Tidak membaik; perlu evaluasi lapisan/sampel
Arus bocor rata-rata (μA)	41,46	61,07	40,41	32,11% lebih rendah	Membaik, mendekati polimer
Korona rata-rata (count/min)	86	3.857	31	97,77% lebih rendah	Membaik sangat besar
ΔT rata-rata (°C)	1,04	5,38	1,96	80,67% lebih rendah	Membaik; variasi pengukuran perlu dicatat

Intensitas korona rata-rata isolator berlapis RTV sebesar 86 *count*/menit lebih rendah daripada keramik tanpa pelapisan sebesar 3.857 *count*/menit, atau turun 97,77%. Kenaikan suhu rata-rata berkurang dari 5,38 °C pada keramik tanpa pelapisan menjadi 1,04 °C pada isolator berlapis RTV, atau turun 80,67%. Arus bocor rata-rata isolator berlapis RTV sebesar 41,46 μA, 32,11% lebih rendah daripada keramik tanpa pelapisan sebesar 61,07 μA dan mendekati polimer sebesar 40,41 μA. Sebaliknya, tahanan isolasi rata-rata isolator berlapis RTV sebesar 38,17 GΩ, 74,07% lebih rendah daripada keramik tanpa pelapisan sebesar 147,23 GΩ.

Analisis Ekonomi Pemeliharaan

Biaya pembersihan rutin isolator keramik tanpa pelapisan sebesar Rp28.395.000 per tahun, dengan nilai kini selama 15 tahun pada tingkat diskonto 8% sebesar Rp243.046.397. Apabila hanya penghematan biaya pembersihan yang diperhitungkan, pelapisan RTV belum ekonomis dengan NPV −Rp24.453.603 dan BCR 0,91. Hasil analisis setelah biaya gangguan dimasukkan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil LCC setelah memasukkan biaya gangguan pada tingkat diskonto 8%

Skenario	LCC termasuk gangguan (Rp)	NPV penghematan (Rp)	BCR	IRR	Simple PB	Discounted PB	EAC/tahun (Rp)
Keramik tanpa lapis	5.890.308.658	–	–	–	–	–	688.162.080
Pelapisan RTV	2.526.404.904	3.363.903.753	2,33	158,60%	0,63 tahun	0,68 tahun	295.158.735
Isolator polimer	2.769.704.904	3.120.603.753	2,13	83,05%	1,20 tahun	1,32 tahun	323.583.364

Setelah biaya gangguan dimasukkan, LCC keramik tanpa pelapisan sebesar Rp5.890.308.658. Pelapisan RTV menghasilkan LCC Rp2.526.404.904, NPV penghematan Rp3.363.903.753, BCR 2,33, IRR 158,60%, periode pengembalian sederhana 0,63 tahun, dan periode pengembalian terdiskonto 0,68 tahun. Isolator polimer menghasilkan LCC Rp2.769.704.904, NPV penghematan Rp3.120.603.753, BCR 2,13, IRR 83,05%, periode pengembalian sederhana 1,20 tahun, dan periode pengembalian terdiskonto 1,32 tahun. Biaya tahunan ekuivalen keramik tanpa pelapisan, pelapisan RTV, dan isolator polimer masing-masing Rp688.162.080, Rp295.158.735, dan Rp323.583.364.

Integrasi Indeks Teknis dan Indeks Ekonomi

Hasil integrasi OHI teknis dan *Economic Index* menjadi indeks kelayakan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil akhir studi kelayakan isolator

Jenis isolator	OHI teknis	Kategori teknis	Economic Index	Feasibility Index	Status kelayakan	Peringkat	Keputusan akhir
Keramik berlapis RTV	59,77	Cukup	100,00	71,84	Cukup Layak	2	Layak Bersyarat
Keramik tanpa pelapisan	29,60	Buruk	0,00	20,72	Tidak Layak	3	Tidak direkomendasikan
Isolator polimer	76,63	Baik	92,77	81,47	Layak	1	Layak digunakan

Isolator polimer memperoleh indeks kelayakan 81,47 dan menempati peringkat pertama dengan OHI teknis tertinggi, yaitu 76,63 (kategori baik) dan *Economic Index* 92,77. Keramik berlapis RTV memperoleh indeks 71,84 (OHI 59,77, kategori cukup; *Economic Index* 100,00) dan menempati peringkat kedua dengan keputusan layak bersyarat. Keramik tanpa

pelapisan memperoleh indeks terendah, yaitu 20,72, dengan OHI 29,60 (kategori buruk) dan *Economic Index* 0,00, sehingga tidak direkomendasikan.

Pembahasan

Tahanan isolasi isolator berlapis RTV justru paling rendah, yaitu 74,07% di bawah keramik tanpa pelapisan, padahal pelapisan RTV dilaporkan memperbaiki resistivitas permukaan (Suwarno & Pratomosiwi, 2009). Perbedaan ini mungkin berkaitan dengan kondisi lapisan atau sampel yang diukur, sehingga hasil tersebut perlu dikonfirmasi melalui inspeksi visual rinci dan pengujian ulang pada kondisi basah atau berkabut garam.

Pada parameter yang berkaitan dengan aktivitas permukaan, pelapisan RTV memberikan perbaikan nyata. Arus bocor rata-rata turun 32,11% dan mendekati isolator polimer, sejalan dengan temuan bahwa pelapisan *silicone rubber* menurunkan arus bocor pada isolator keramik di lingkungan pesisir (Fauziah et al., 2017; Suwarno et al., 2012). Penurunan intensitas korona sebesar 97,77% menunjukkan berkurangnya pelepasan listrik lokal pada permukaan isolator, dan penurunan kenaikan suhu sebesar 80,67% menunjukkan berkurangnya pemanasan permukaan. Pola ini sesuai dengan kemampuan pelapis RTV melindungi isolator pada lingkungan berpolusi tinggi (Ilhan & Cherney, 2018). Dengan demikian, manfaat teknis utama pelapisan terdapat pada pengendalian arus bocor, korona, dan pemanasan, tetapi belum mencakup seluruh parameter sehingga kelayakan teknisnya bersyarat.

Dari sisi ekonomi, pelapisan RTV tidak layak apabila hanya penghematan biaya pembersihan yang diperhitungkan, tetapi menjadi layak setelah biaya gangguan dimasukkan. Manfaat ekonomi pelapisan RTV dan penggantian dengan isolator polimer terutama terbentuk dari pengurangan biaya gangguan, sehingga kesimpulan ekonomi sangat bergantung pada asumsi biaya gangguan yang digunakan. Temuan ini melengkapi kajian terdahulu yang lebih banyak membahas sifat material, penuaan, dan performa laboratorium (Lei et al., 2023; Mahendra et al., 2025; Seyedmehdi et al., 2012) dengan evaluasi lapangan yang menyertakan konsekuensi biaya.

Integrasi indeks teknis dan ekonomi menempatkan isolator polimer pada peringkat pertama karena kondisi teknisnya terbaik. Pelapisan RTV berada pada peringkat kedua sehingga dapat diprioritaskan sebagai strategi *retrofit* pada isolator keramik yang masih memiliki kondisi mekanis baik, sedangkan isolator polimer lebih sesuai untuk penggantian pada lokasi dengan tingkat degradasi tinggi atau kebutuhan keandalan yang lebih ketat. Implikasinya, kerangka ini dapat membantu pengelola saluran menetapkan prioritas antara pelapisan dan penggantian isolator.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Desain *cross-sectional* pada lima lokasi tower tidak menguji unit yang sama sebelum dan sesudah pelapisan. Pengukuran hidrofobisitas langsung dan pengujian pada kondisi basah atau kabut garam belum dilakukan. Selain itu, normalisasi OHI hanya didasarkan pada 15 observasi dan hasil ekonomi bergantung pada asumsi biaya gangguan.

SIMPULAN

Secara teknis, pelapisan RTV menurunkan arus bocor rata-rata 32,11%, intensitas korona 97,77%, dan kenaikan suhu 80,67% dibandingkan keramik tanpa pelapisan, tetapi tahanan isolasinya 74,07% lebih rendah sehingga kelayakan teknisnya bersyarat. Secara ekonomi, setelah biaya gangguan dimasukkan, pelapisan RTV (LCC Rp2.526.404.904; BCR 2,33) dan isolator polimer (LCC Rp2.769.704.904; BCR 2,13) lebih ekonomis daripada keramik tanpa pelapisan (LCC Rp5.890.308.658). Integrasi aspek teknis dan ekonomi menempatkan isolator polimer pada peringkat pertama (81,47), pelapisan RTV pada peringkat kedua (71,84), dan keramik tanpa pelapisan pada peringkat terakhir (20,72).

PLN Unit Pelaksana Transmisi Bali disarankan menggunakan isolator polimer untuk penggantian pada lokasi berdegradasi tinggi dan menerapkan pelapisan RTV secara bersyarat pada isolator keramik yang masih baik secara mekanis, disertai pemantauan kondisi lapisan secara berkala. Peneliti selanjutnya disarankan mengukur hidrofobisitas secara langsung dan menguji isolator pada kondisi basah atau kabut garam.

DAFTAR PUSTAKA

Fauziah, D., Alfiadi, H., Rachmawati, & Suwarno. (2017). The effect of coating on leakage current characteristic of coast field aged ceramic insulator. *2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*. https://doi.org/10.1109/EECSI.2017.8239140

Ilhan, S., & Cherney, E. A. (2018). Comparative tests on RTV silicone rubber coated porcelain suspension insulators in a salt-fog chamber. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, *25*(3), 947–953. https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006990

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2018). *IEEE Std 1523-2018: IEEE guide for the application, maintenance, and evaluation of room-temperature vulcanizing (RTV) silicone rubber coatings for outdoor ceramic insulators*.

International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC TS 62073:2016: Guidance on the measurement of hydrophobicity of insulator surfaces*.

Lei, Q., Li, Z., & Li, Q. (2023). Preparation of HTV silicone rubber with hydrophobic–UV-resistant composite coating and the aging research. *e-Polymers*, *24*(1). https://doi.org/10.1515/epoly-2023-0159

Li, Z., et al. (2020). Pollution flashover performance of RTV coatings with different damage modes. *Polymer Testing*.

Mahendra, R. P., et al. (2025). Performance improvement of RTV silicone rubber as high voltage outdoor insulator coating material using nano BN and Al_2O_3 additives. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, *16*. https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.101144

Nugroho, A., Khan, K., Rachmawati, & Suwarno. (2024). *Pengaruh pelapisan karet silikon vulkanisasi suhu ruangan terhadap karakteristik arus bocor pada isolator longrod 150 kV*. Bandung.

Pemerintah Provinsi Bali. (2023). *Jaringan infrastruktur ketenagalistrikan berdasarkan Perda RTRW Provinsi Bali*.

Rachmawati, M., Wakhidin, & Suwarno. (2018). Study on leakage current characteristics and electrical equivalent circuit properties of aged polymer insulator under artificial environmental condition. *Proceedings of the 4th IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 1C31-2.

Seyedmehdi, S. A., Zhang, H., & Zhu, J. (2012). Superhydrophobic RTV silicone rubber insulator coatings. *Applied Surface Science*.

Suwarno, Basuki, A., Lendy, F., & Sumedi. (2012). Improving outdoor insulator performances installed at coastal area using silicone rubber coating. *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 1143–1146. https://doi.org/10.1109/CMD.2012.6410664

Suwarno, & Pratomosiwi, F. (2009). Application of RTV silicone rubber coating for improving performances of ceramic outdoor insulator under polluted condition. *2009 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 581–587. https://doi.org/10.1109/ICEEI.2009.5254749