

Studi Keandalan Sistem Penyaluran Daya Hantaran Udara 150 Kv Kosambi Baru - Grogol Dengan Menggunakan Value Engineering

N.I. Sinisuka dan Erik Jenjen

Departemen Teknik Elektro - Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha 10 – Bandung 40132, Telp: (022) 250 4486,
e-mail : ngapuli@hv.ee.itb.ac.id

Abstrak

Studi keandalan, analisis waktu hidup dan peninjauan ekonomis sejalan dengan gagasan untuk mengeliminasi satu sirkuit hantaran udara 150 kV menurut teknik value engineering untuk kasus transmisi Kosambi Baru – Grogol akan memberikan keuntungan ekonomis yang nyata dan memperlihatkan keandalan yang dapat diterima. Analisis yang sederhana ini terdiri dari dua bagian yang pertama adalah berdasarkan data dan kejadian sedangkan yang kedua adalah analisis berdasarkan data riil rata-rata pada 68 sirkuit 150 kV yang ada di PT PLN (Persero) P3B area 2. Dari sisi pandang yang berbeda terhadap keandalan akan di dapat resiko ekonomis, ketersediaan dan life time yang dihubungkan dengan penghematan CAPEX, yang dibandingkan dengan biaya tahunan dan present value cash flow sebelum dan sesudah eliminasi satu sirkuit hantaran udara 150 kV.

Kata Kunci : Keandalan, ketersediaan, Life Time, Capital Expenditure, Operational Expenditure, Present value Aliran Kas

Abstract

Study of reliability, life time differential/ analysis, and economical assessment in line with idea to eliminate one of the 150 kV overhead lines circuit according to value engineering techniques for Kosambi Baru - Grogol case, will prove real economical advantages and perform an acceptable reliability beside some requirements and later stage of study which needed. This simple analysis consist of two part, the first is analysis which base on idealization data & event (an optimistic prescription), and the second is analysis which base on average real data on 68 circuits 150 kV overhead lines at PT. PLN (Persero) P3B area-2. The different view of reliability analysis will produce economical risk of differential on hazard rate (λ), availability, and life time to expose the quantity of CAPEX saving, compare an annual cost assessment, and present value cash flow before and after deleting one of the 150 kV overhead lines circuit. Insulators washing policy related with an operational expenditure and working under voltage condition technology will be discussed as a consequence of dust failure assumption and an additional solution for maintenance scheduled outages.

Keywords : Reliability, Availability, Life Time, Capital Expenditure, Operational Expenditure, Present value Aliran Kas

1. Pendahuluan

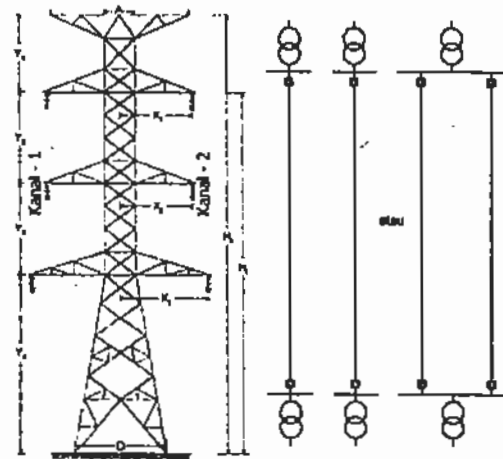
Krisis ekonomi yang melanda Indonesia dalam beberapa tahun belakangan ini membutuhkan penanganan dan penanggulangan dengan segera. Penghematan dalam biaya investasi peralatan listrik dan peningkatan efisiensi dalam berbagai bidang akan menjadi perhatian utama pada masa krisis seperti ini. Rendahnya nilai tukar rupiah berarti naiknya biaya (cost) secara umum, yang berakibat turunnya nilai (value) fungsi

suatu peralatan atau komponen, maka dibutuhkan usaha-usaha ekstra untuk meningkatkan nilai fungsi suatu peralatan. Usaha-usaha tersebut bisa dilakukan dengan memaksimalkan rasio keandalan terhadap biaya modal (capital expenditure) atau bisa berupa memaksimalkan ketersediaan terhadap biaya modal. Sejalan dengan hal tersebut, aplikasi teknik teknik value engineering bisa merupakan pilihan terbaik dalam meminimalkan biaya dengan

menjaga terpenuhinya fungsi suatu peralatan atau komponen.

Saluran udara tegangan tinggi merupakan komponen vital dalam sistem ketenagalistrikan yang akan menyalurkan daya dalam jumlah besar. Disamping itu karena terbukanya saluran transmisi terhadap alam menyebabkan kegagalan pada sistem ketenagalistrikan terutama sering disebabkan oleh kegagalan pada saluran transmisinya. Pertimbangan-pertimbangan dan kekhawatiran tersebut menjadi alasan utama untuk meningkatkan keandalan secara paralel maka dirancang saluran transmisi (SUTT 150 kV) konfigurasi sirkuit ganda yang akan menuntut pada konsekuensi biaya yang sangat tinggi.

Kedekatan secara struktur dan keseimbangan desain dua saluran transmisi mengakibatkan pengaruh-pengaruh alam yang cenderung bersifat sama pada kedua sirkuit saluran tersebut, dimana akan banyak menyebabkan kegagalan secara bersamaan (common mode failure) yang bisa berarti terjadinya pema-daman. Sejah mana mahalnya biaya untuk fungsi peningkatan keandalan SUTT 150 kV ditinjau secara nilai (value) akan menjadi pembahasan utama dalam paper ini, sejalan dengan ide untuk menghapus salah satu dari dua kanal sirkuit SUTT 150 kV dan Teknologi Pekerjaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) yang memungkinkan usaha pemeliharaan saluran dilakukan tanpa harus di-lakukannya pemadaman. Paper ini memperlihatkan contoh penerapan teknik-teknik value engineering untuk mengoptimalkan konfigurasi saluran udara tegangan tinggi dan mencari alternatif perbaikan sistem secara value. Analisis fungsional memperlihatkan tingginya biaya pemenuhan fungsi meningkatkan keandalan (39.09% dari total biaya komponen) dengan menerapkan struktur sirkuit ganda, dimana dalam kebanyakan kasus memperlihatkan bahwa indeks value paling rendah terdapat pada fungsi-fungsi dengan biaya yang tinggi.



Gambar 1.
Sketsa menara dan diagram SUTT 150 kV struktur sirkuit ganda

Menguji tingginya biaya untuk memenuhi fungsi meningkatkan keandalan, maka akan dianalisis dan dibandingkan dua sistem berdasarkan keandalan, ketersediaan, masa hidup, biaya modal (capital expenditure), biaya tahunan, present value aliran kas, dan biaya operasional akibat kebijakan pemeliharaan yang harus diambil disamping persyaratan- persyaratan dan studi lanjutan yang diperlukan.

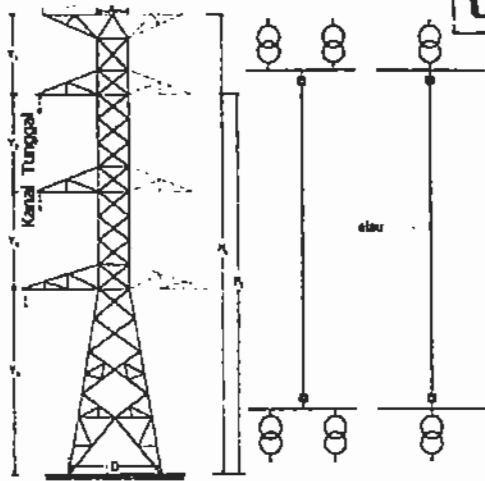
2. Sistem yang ada sekarang (Existing System)

Indeks keandalan SUTT sirkuit ganda untuk berbagai level tegangan berdasarkan referensi [1] diperlihatkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1.
Indeks keandalan SUTT sirkuit ganda

Tegangan Saluran [kV]	Laju Kegagalan (λ) [Kegagalan/100km/tahun]	Waktu Perbaikan (jam)
69	0.68365444	6
138	0.40397763	9
(150)	(0.37290242)	(9)
161	0.31075202	9
345	0.15537601	12
500	0.12430081	12

Didapat dengan menghapus salah satu sirkuit termasuk isolator dan aksesoris baik di saluran transmisinya maupun di feeder-bay SUTT 150 kV.



Gambar 2.

Sketsa menara dan diagram SUTT 150 kV struktur sirkuit ganda

Perubahan konfigurasi SUTT 150 kV struktur sirkuit ganda dari dua kanal saluran menjadi satu kanal tidak akan menimbulkan masalah secara mekanik (keseimbangan torsi-torsi) selama cara pemasangannya (erection) benar dan sesuai prosedur. Hal tersebut dikarenakan desain menara baja yang dirancang untuk bertahan apabila terjadi pemutusan satu atau lebih konduktor fasa. Contoh nyata seperti ini terdapat di salah satu SUTT 150 kV PT PLN (Persero) P3B area-3, dimana struktur sirkuit ganda hanya dipasang satu kanal saluran saja.

2.1. Metode Perhitungan Perubahan Ketidak-tersedian

Sejauh mana pengaruh pengurangan jumlah sirkuit terhadap terjaminnya ketersediaan penyaluran daya listrik, akan memfokuskan analisis keandalan pada indeks ketersediaannya. Ketidak-tersedian atau Unavailability adalah keadaan dimana suatu alat tidak tersedia untuk pelayanan atau tidak beroperasi (out), merupakan pecahan waktu dimana alat tidak tersedia untuk pelayanan.

$$U = 1 - A = \frac{MTTR}{MTBF} = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF} \quad (1)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \text{ waktu rata-rata terjadinya kegagalan}$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \text{ waktu rata-rata untuk perbaikan}$$

λ dan μ laju kegagalan (kegagalan per tahun) dan laju perbaikan rata-rata

$$U = \frac{\lambda(MTTR)}{1 + \lambda(MTTR)}$$

Dengan mendifferensiasikan persamaan diatas terhadap lambda diperoleh :

$$\frac{\Delta U}{\Delta \lambda} = \frac{\lambda(MTTR)}{(1 + \lambda(MTTR))^2} \left[1 - \frac{\lambda(MTTR)}{(1 + \lambda(MTTR))} \right] \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

menyusun kembali dan mensubstitusikan kedua persamaan diatas diperoleh :

$$\Delta U = U(1 - U) \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

yang berarti bahwa perubahan ketidak-tersedian berbanding lurus dengan perubahan laju kegagalan, dan dapat dicari nilai perubahannya jika diketahui nilai ketidak-tersedian dan laju kegagalan sistem asalnya. Sehingga disimpulkan bahwa :

$$U_{s.tunggal} = U_{s.ganda} = \Delta U \quad (3)$$

$$U_{s.tunggal} = U_{s.ganda} + U_{s.ganda} (1 - U_{s.ganda}) \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{s.ganda}} \quad (4)$$

2.2. Kegagalan Secara Bersamaan (Common Mode Failure)

Pemadaman secara bersamaan akibat salurannya (line originated common mode outages) didefinisikan sebagai kegagalan penyaluran daya secara bersamaan dari dua atau lebih sirkuit yang berbagi jalur lintas (right of way) dalam satu menara yang sama, disebabkan oleh kejadian-kejadian gangguan bersamaan dan akibat kedekatan kanal-kanal dalam jalur lintasnya. Atau dengan kata lain kejadian yang mempunyai penyebab eksternalnya tunggal tetapi dampak kegagalannya banyak, dimana efek-efek tersebut tidak berhubungan satu dengan yang lainnya. Misalnya, kejadian pemutusan paksa satu saluran transmisi akibat sambaran petir pada suatu kanal yang diikuti kegagalan pada kanal lain

terdekat, akibat kegagalan atau gangguan rele proteksinya.

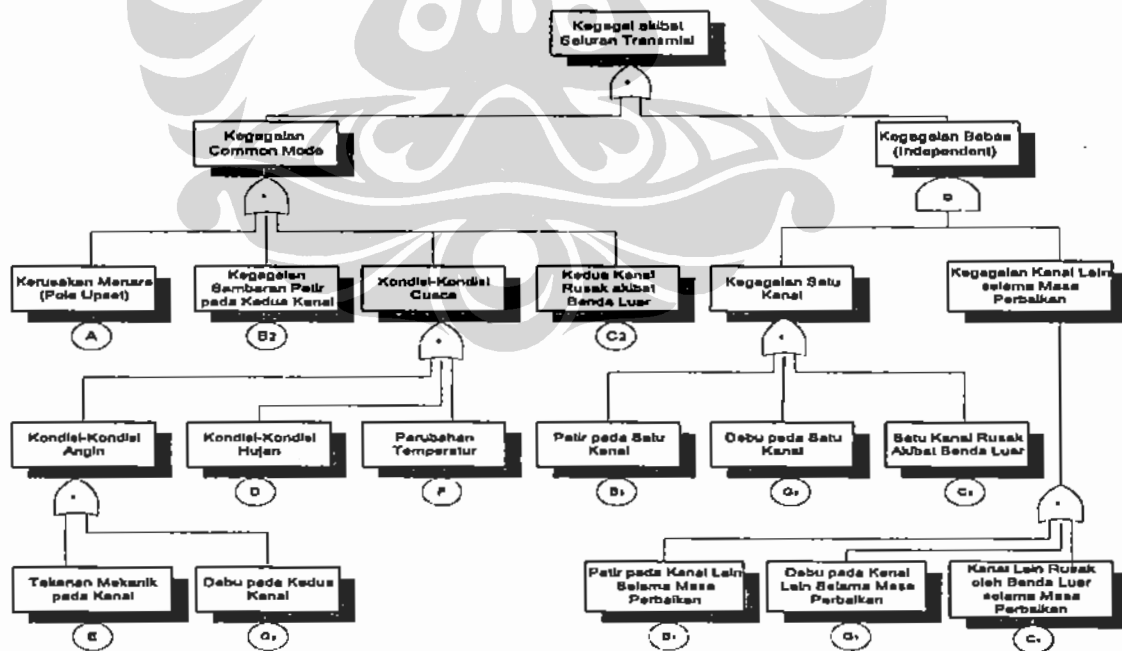
Penelitian pendahuluan dari data yang ada memperlihatkan bahwa kejadian kegagalan secara bersama dapat signifikan dalam perhitungan keandalan saluran transmisi. Walaupun prosedur pengumpulan data yang banyak digunakan tidaklah cukup untuk menyediakan data yang dibutuhkan untuk mengevaluasi kejadian-kejadian tersebut akan tetapi dengan mengklasifikasikan dan menganalisis kecocokan sifat-sifatnya diperoleh hasil yang baik dan bisa dipertanggung jawabkan.

2.3. Kejadian Kegagalan Akibat Saluran Transmisi untuk SUTT 150 kV Struktur Sirkuit Ganda

Kejadian-kejadian kegagalan akibat kegagalan pada saluran transmisinya, sesuai dengan pohon kegagalan pada Gambar 3, diklasifikasikan menjadi kejadian-kejadian kegagalan bebas (independent) dan kegagalan common mode. Kejadian

kegagalan bebas disebabkan kegagalan salah satu kanal saluran transmisi dan kegagalan kanal transmisi selama masa perbaikan kanal yang lainnya.

1. Kejadian kegagalan atau rusaknya menara (pole upset). Kejadian A, dengan laju kegagalan λ_A . Kerusakan menara transmisi secara mekanik menyebabkan penyaluran daya terhenti pada kedua kanal saluran. Pemutusan yang terjadi akibat peristiwa kegagalan menara ini bersifat common mode.
2. Kejadian kegagalan akibat sambaran petir pada satu kanal selama masa perbaikan kanal lain. Kejadian B₁, laju kegagalan λ_{B1} , dengan peluang $\lambda_{B1} \times$ MTTR. Kondisi seperti kejadian sambaran petir pada saluran transmisi dengan struktur satu sirkuit karena terjadi pada saat pemutusan terencana saluran yang lainnya, yang menyebabkan kegagalan independent.

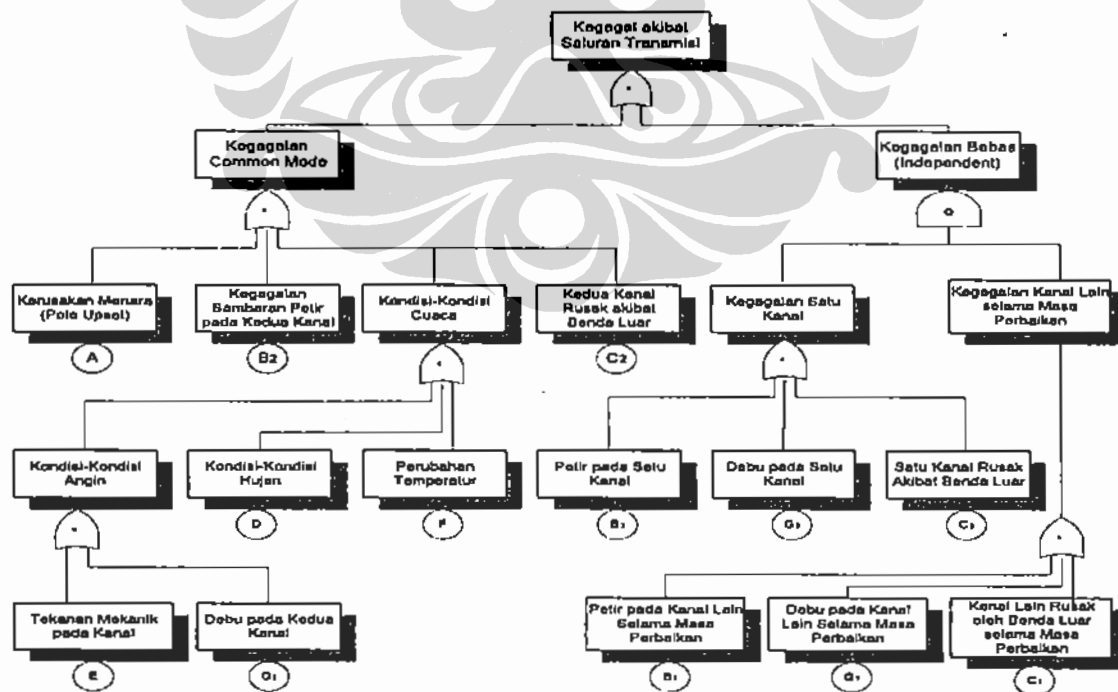


Gambar 3. Pohon Kegagalan pada transmisi SUTT sirkuit ganda

3. Kejadian kegagalan akibat sambaran petir pada kedua kanal. Kejadian B₂, dengan laju kegagalan λ_{B2} . Kondisi gangguan akibat sambaran petir yang menyebabkan kegagalan serentak kedua kanal saluran transmisi, merupakan kejadian kegagalan common mode akibat petir.
4. Kejadian kegagalan akibat sambaran petir pada salah satu kanal. Kejadian B₃, dengan laju kegagalan λ_{B3} . Kondisi gangguan akibat sambaran petir yang menyebabkan kegagalan pada salah satu kanal saluran transmisinya, merupakan salah satu penyebab kejadian kegagalan independent akibat petir.
5. Kerusakan oleh Benda luar Selama Masa Perbaikan Kanal yang Lain. Kejadian C₁, laju kegagalan λ_{C1} , dengan peluang $\lambda_{C1} \times \text{MTTR}$. Kondisi kerusakan seperti pada kejadian kerusakan akibat benda luar, tetapi terjadi selama masa perbaikan kerusakan kanal yang lain.
6. Kedua Kanal Rusak akibat Benda Luar. Kejadian C₂, dengan laju

kegagalan λ_{C2} . Kondisi kerusakan akibat adanya benda luar, yang menyebabkan kerusakan serentak pada kedua kanalnya.

7. Kejadian Kegagalan akibat Kondisi Hujan. Kejadian D, dengan laju kegagalan λ_D . Kejadian kegagalan common mode yang diakibatkan kondisi hujan, hal ini menyebabkan pengaruhnya yang sama untuk kedua kanal saluran transmisi.
8. Kejadian kegagalan akibat tekanan mekanik Angin pada Dua Kanal. Kejadian E, dengan laju kegagalan λ_E . Kejadian kegagalan saluran transmisi akibat tekanan mekanik angin pada struktur saluran secara keseluruhan.
9. Kejadian Kegagalan Akibat Perubahan Temperatur. Kejadian F, dengan laju kegagalan λ_F . Kejadian kegagalan penyaluran daya akibat pemuaian atau mungkin pada suatu kondisi tertentu saluran akan putus, atau pecahnya isolator, hal ini terjadi pada kedua kanal saluran transmisi yang disebabkan efek yang sama oleh perubahan temperatur lingkungan yang drastis.



Gambar 3.
Pohon Kegagalan pada transmisi SUTT sirkuit ganda

10. Kejadian Kegagalan akibat Debu pada Satu Kanal Selama Perbaikan Kanal yang Lain. Kejadian G_1 , laju kegagalan λ_{G1} , dengan peluang $\lambda_{G1} \times MTTR$. Kondisi seperti kejadian penimbunan debu pada saluran transmisi dengan struktur satu sirkuit tetapi terjadi pada saat pemutusan terencana saluran yang lainnya, misalnya selama waktu perbaikan atau masa pemeliharaan kanal yang lainnya, sehingga struktur sirkuit ganda berperan sebagai struktur tunggal, penyebab kegagalan independent.

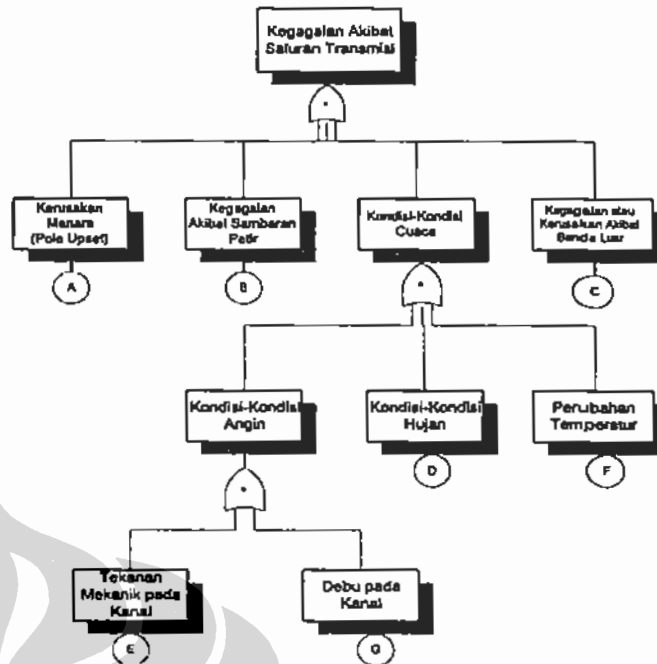
11. Kejadian Kegagalan akibat Debu pada Dua kanal. Kejadian G_2 , dengan laju kegagalan λ_{G2} . Kejadian kegagalan transmisi akibat penimbunan debu di isolator yang menyebabkan gagal isolasi kedua kanal saluran secara serentak.

12. Kejadian Kegagalan akibat Debu pada Salah Satu Kanal. Kejadian G_3 , dengan laju kegagalan λ_{G3} . Kejadian kegagalan transmisi akibat penimbunan debu di isolator yang menyebabkan gagal isolasi pada salah satu kanal dari dua kanal saluran transmisi struktur sirkuit ganda.

2.4. Kejadian Kegagalan pada Sistem yang Diajukan

Pada sistem saluran transmisi dengan kanal tunggal, sesuai dengan pohon kegagalan pada Gambar 4, dapat dikelompokkan menjadi :

1. Kejadian Kegagalan atau Rusaknya Menara (pole upset). Kejadian A, dengan laju kegagalan λ_A .
2. Kejadian Kegagalan akibat Sambaran Petir. Kejadian B, dengan laju kegagalan λ_B . Kondisi gangguan akibat sambaran petir baik sambaran langsung atau tidak langsung, yang menyebabkan kerusakan pada konduktor fasa dan kegagalan penyaluran daya (pemadaman).



Gambar 4
Pohon Kegagalan SUTT Sirkuit Tunggal (proposed system)

3. Kejadian Kegagalan Akibat Rusaknya Saluran oleh Benda Luar. Kejadian C, dengan laju kegagalan λ_C . Kondisi kerusakan akibat benda luar tetapi yang hanya menyebabkan kerusakan pada satu kanal dari kedua kanal saluran transmisi walaupun di lokasi sekitar jalur lintas telah dipasang pencegah benda luar.
4. Kejadian Kegagalan akibat Kondisi Hujan. Kejadian D, dengan laju kegagalan λ_D .
5. an Kegagalan akibat Tekanan Mekanik Angin pada Dua Kanal. Kejadian E, dengan laju kegagalan λ_E .
6. Kejadian Kegagalan Akibat Perubahan Temperatur. Kejadian F, dengan laju kegagalan λ_F .
7. Kejadian Kegagalan akibat Debu. Kejadian G, dengan laju kegagalan λ_G . Kejadian kegagalan penyaluran daya akibat penimbunan debu di isolator yang menyebabkan turunnya kekuatan isolasi, pada suatu tingkat penimbunan debu tertentu akan menyebabtkan gagal isolasi.

3. Perubahan Laju Kegagalan

Berdasarkan kedua pohon kegagalan akibat saluran transmisi, maka hubungan kejadian-kejadian kegagalan tersebut dapat dituangkan dalam persamaan-persamaan sebagai berikut:

untuk sistem yang ada (existing)

$$E = [A \cup B_2 \cup C_2 \cup E \cup G_2 \cup D \cup F] \cup \{[B_3 \cup G_3 \cup C_3] \cap [B \cup G_1 \cup C]\} \quad (5)$$

$$\lambda_E = \lambda_A + \lambda_{D2} + \lambda_{C2} + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_{G2} + \lambda_{kegagalan\ bebas} \quad (6)$$

$$\lambda_E = \lambda_A + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_{G2} + [\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3}] \cdot [\lambda_B + \lambda_C + \lambda_G] \cdot MTTR \quad (7)$$

untuk sistem yang diajukan (proposed)

$$P = A \cup B \cup C \cup D \cup F \cup E \cup G$$

$$\lambda_P = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G \quad (8)$$

Mengurangkan kedua persamaan diatas, diperoleh perubahan laju kegagalan ($\Delta\lambda$) akibat penghapusan salah satu kanal saluran dari saluran transmisi struktur sirkuit ganda sebagai berikut:

$$\Delta\lambda = \lambda_P - \lambda_E$$

$$\Delta\lambda = \{ \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_G \} - \{ \lambda_A + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_D + \lambda_E + \lambda_F + \lambda_{G2} + [\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3}] \cdot [\lambda_B + \lambda_C + \lambda_G] \cdot MTTR \}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B + \lambda_C + \lambda_G - \lambda_{B2} - \lambda_{C2} - \lambda_{G2} - [\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3}] [\lambda_B + \lambda_C + \lambda_G] MTTR \quad (9)$$

Kegagalan saluran transmisi disebabkan karena terbukanya saluran transmisi terhadap alam. Sistem yang diajukan akan membentang di tempat, luas, dan dimensi yang relatif sama dengan sistem asalnya, maka pengaruh-pengaruh alam atau lingkungannya akan identik pada kedua sistem yang diperbandingkan. Disimpulkan bahwa:

- Laju kegagalan akibat sambaran petir

$$\lambda_B \approx \lambda_{B2} + \lambda_{B3} \quad (10)$$

- Laju kegagalan akibat gangguan (interferensi) benda luar

$$\lambda_C \approx \lambda_{C2} + \lambda_{C3} \quad (11)$$

- Laju kegagalan akibat gagal Isolasi oleh pe-nimbunan debu

$$\lambda_G \approx \lambda_{G2} + \lambda_{G3} \quad (12)$$

Persamaan perubahan laju kegagalan disederhana-kan menjadi:

$$\Delta\lambda = \lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3} - [\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3}] \cdot [\lambda_B + \lambda_C + \lambda_G] \cdot MTTR \quad (13)$$

4. Perhitungan Perubahan Laju Kegagalan Dan Ketidak- Tersediaan Data

4.1. Kejadian kegagalan akibat peristiwa petir

Peristiwa gagal perlindungan (sambaran langsung ke konduktor fasa) bisa mengakibatkan kegagalan salah satu kanal saluran (SFOS) atau kegagalan dua kanal saluran (SFOD) dihitung secara manual dengan Metode Kostenko-Polovoy-Rosenfeld, diperoleh

$$SFO = SFOS + SFOD$$

$$SFO = 2 \times 0.0101913$$

$$= 0.020383 \text{ kegagalan/100km/thn}$$

perbandingan antara jumlah kegagalan tunggal dengan kegagalan common mode-nya dianalisis lebih lanjut berdasarkan studi terdahulu [2] di lab TTAT ITB.

$$SFOS = 49.19466 \% \times SFO$$

$$SFOS = 0.01002715 \text{ kegagalan/100km/tahun}$$

$$SFOD = 50.80534 \% \times SFO$$

$$SFOD = 0.01035545 \text{ kegagalan/100 km/tahun}$$

Peristiwa denyar balik (back flashover), berdasarkan pertimbangan keseimbangan desain kedua kanal saluran maka BFOS = 0 sehingga BFO = BFOD, dihitung dengan simulasi komputer berdasarkan Metode Monte Carlo, diperoleh:

BFO = BFOD = 1.05560 kegagalan/100 km/tahun

Laju kegagalan akibat petir

$$\lambda_{B3} = \text{SFOS}$$

$$= 0.01002715 \text{ kegagalan/100km/tahun}$$

$$\lambda_{B2} = \text{SFOD} + \text{BFO}$$

$$= 1.065955 \text{ kegagalan/100km/tahun}$$

Dinyatakan dalam 17.5 km SUTT KSBRU-GROGL

$$\lambda_{B3} = 0.00175475 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\lambda_{B2} = 0.1871278938 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\lambda_B = \lambda_{B2} + \lambda_{B3}$$

4.2. Kejadian Kegagalan akibat benda luar

Idealisasi dan pertimbangan kejadian gangguan benda luar.

Akibat ketinggian SUTT dan fakta bahwa jalur saluran udara tegangan tinggi adalah daerah terlarang, maka kecenderungan suatu benda luar pada permukaan tanah merusak suatu saluran adalah kecil sekali (mendekati nol). Kasus yang perlu diperhatikan jika suatu benda luar pada permukaan tanah akan menabrak menara SUTT, kemudian mengacu pada kejadian kegagalan akibat rusaknya menara (pole upset), pada gambar 4 tidak dimasukkan pada analisis perubahan laju kegagalan, maka hanya benda luar 'terbang' saja yang diperhatikan.

Benda terbang ringan atau kecil akan rusak berat (meledak) jika menyentuh konduktor fasa, baik rusak berat secara mekanik ataupun elektrik.

Konsekuensi dari pertimbangan - pertimbangan di atas disimpulkan bahwa:

$$\lambda_{C3} \approx 0$$

$$\lambda_C = \lambda_{C2} + \lambda_{C3} \approx \lambda_{C2} \quad (14)$$

4.3. Kejadian kegagalan akibat debu

Kejadian kegagalan dua kanal akibat penimbunan debu merupakan bagian (subset) dari kejadian kegagalan salah satu kanal akibat debu, $G_2 \subset G$ sehingga $G_2 \times G = G$ artinya $\lambda_{G2} < \lambda_G$. Serta membandingkan dengan persamaan $\lambda_G \approx \lambda_{G2} + \lambda_{G3}$. Dari

pertimbangan diatas maka diasumsikan bahwa:

$$\lambda_{G3} = \lambda_{G2} = \frac{\lambda_G}{2} \quad (15)$$

Karena tidak adanya data percobaan untuk menghitung λ_G untuk SUTT 150 kV KSBRU-GROGL Akan tetapi, berdasarkan pertimbangan bahwa jenis isolator yang digunakan untuk SUTT yang ditinjau adalah jenis isolator gantung (bukan isolator batang), maka bisa dikatakan bahwa SUTT tersebut berada di daerah dengan pengotoran sedang. Berdasarkan referensi [3], kegagalan akibat debu bisa diasumsikan terjadi setiap 8 tahun sekali, sehingga

$$\lambda_G = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ kegagalan/tahun}$$

Dari ketiga analisis idealisasi diatas maka disimpulkan bahwa perubahan laju kegagalan menjadi

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_G}{2} - \frac{\lambda_G}{2} [\lambda_B + \lambda_C + \lambda_G] \text{MTTR} \quad (16)$$

Peluang terjadinya kegagalan transmisi akibat benda terbang berat, jauh lebih kecil daripada peluang kejadian kegagalan akibat sambaran petir, $\lambda_C \ll \lambda_B$ sehingga perubahan laju kegagalan didekati dengan

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_G}{2} - \frac{\lambda_G}{2} [\lambda_B + \lambda_C] \text{MTTR} \quad (17)$$

dengan mensubstitusikan nilai-nilai yang berkesesuaian dari persamaan-persamaan diatas dan indeks keandalan pada Tabel 1, diperoleh:

$$\Delta\lambda = \frac{0.125}{2} - \frac{0.125}{2} (0.002410144 + 0.1871278938 + 0.125) 0.001027$$

$$\Delta\lambda = 0.06248 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\Delta\lambda_{\text{sirkuit-ganda}} = \frac{\lambda_E(\text{MTTR})}{1 + \lambda_E(\text{MTTR})} \quad (18)$$

$$U_{s,\text{tunggal}} = U_{s,\text{ganda}} + U_{s,\text{ganda}} (1 - U_{s,\text{ganda}}) \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{s,\text{ganda}}} \quad (19)$$

kemudian dengan mensubstitusikan nilai λ_E dan MTTR diambil dari Tabel 1 dan dinyatakan dalam 17.5 km SUTT KSBURU-GROGL:

$$U_{\text{sirkuit-ganda}} = 0.00670413 \%$$

$$U_{\text{sirkuit-tunggal}} = 0.0131224 \%$$

Perubahan ketidak-tersediaan akibat penghapusan salah satu sirkuitnya:

$$\Delta U = U_{s.tunggal} - U_{s.ganda} \\ = 0.0131224 \% - 0.00670413\%$$

$$\Delta U = 0.00641831\%$$

5. Analisis Perubahan Laju Kegagalan Dan Ketidak- Tersediaan

Keterangan mengenai penggunaan data berdasarkan Catatan Harian Kejadian Gangguan SUTT dan SUTET, Mei 1997 - September 1999 [4], data SUTT 150 kV KSBURU-GROGL yang belum terpasang merupakan data rata-rata 68 sirkuit SUTT di PT. PLN (Persero) P3B area-2, yaitu:

1. Sesuai dengan lamanya kegagalan [5], data dikelompokkan menjadi data akibat kegagalan permanen dan transien (kurang dari satu jam)
2. Berdasarkan penyebab gangguannya data dibagi tiga, yaitu data kegagalan akibat petir, benda luar, dan tidak diketahui penyebabnya.
3. Dari klasifikasi kejadian kegagalan, penyebab kejadian kegagalan tunggal hanya oleh petir, debu dan benda luar. Jadi data kegagalan tunggal yang tidak diketahui penyebabnya merupakan tiga kemungkinan kegagalan tunggal diatas.
4. Jumlah kegagalan dihitung per 100 km jalur lintas (right of way) bukan per 100 km sirkuitnya.

5.1. Perhitungan kejadian kegagalan permanen

Kegagalan dua kanal yang tidak diketahui penyebabnya dihitung laju kegagalan sebagai berikut [4] :

$$\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3} = \frac{3+8+3}{\frac{1}{2} \times \frac{1695.6}{100} \text{ km} \times 2.14667 \text{ thn}}$$

$$\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3} = 0.70363420 \text{ kegagalan/100km/thn}$$

$$\lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_{G2} \approx \frac{1+1+2}{\frac{1}{2} \times \frac{1695.6}{100} \text{ km} \times 2.14667 \text{ thn}}$$

$$\lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_{G2} \approx 0.20103834 \text{ kegagalan/100km/thn}$$

$$\lambda_L + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} = \frac{1+1+2}{\frac{1}{2} \times \frac{1695.6}{100} \text{ km} \times 2.14667 \text{ thn}}$$

$$\lambda_L + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} \approx 0.20103834 \text{ kegagalan/100km/thn}$$

Dinyatakan dalam 17.5 km SUTT KSBURU-GROGL diperoleh

$$\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3} = 0.12313598 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_{G2} = 0.03518171 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\lambda_L + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} = 0.03518171 \text{ kegagalan per tahun}$$

Dengan menghitung rata-rata lamanya kegagalan permanen diperoleh waktu rata-rata untuk perbaikan kegagalan salah satu sirkuit, dua sirkuit, dan waktu perbaikan rata-rata

$$MTTR_i = 14.68 \text{ jam} = 0.001675636 \text{ tahun}$$

$$MTTR_c = 19.23 \text{ jam} = 0.002194635 \text{ tahun}$$

$$MTTR = 16.33 \text{ jam} = 0.001864363 \text{ tahun}$$

dengan mensubstitusikan nilai-nilai yang berkesesuaian dari persamaan-persamaan diatas dihitung perubahan laju kegagalan dan laju kegagalan sirkuit ganda (existing system)

$$\Delta \lambda = \lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3} - (\lambda_{B3} + \lambda_{C3} + \lambda_{G3}) (\lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_{G2} + \lambda_{B1} + \lambda_{C1} + \lambda_{G1}) MTTR$$

$$\Delta \lambda = 0.12313598 - \{0.12313598 (0.12313598 + 0.03518171) 0.001675636\}$$

$$\Delta \lambda = 0.123103314 \text{ kegagalan per tahun}$$

$$\lambda_E = 0.03518171 + 0.12313598 (0.12313598 + 0.03518171) 0.001675636$$

$$\lambda_E = 0.035214375 \text{ kegagalan per tahun}$$

ketidak-tersediaan sistem sirkuit ganda, sirkuit tunggal dan perubahan ketidak-tersediaan dihitung sebagai berikut

$$U_E = \frac{\lambda(MTTR)}{1 + \lambda(MTTR)} = \frac{0.035214375 (0.001675636)}{1 + 0.035214375 (0.001675636)}$$

$$U_E = 0.0000656481 = 0.00656481\%$$

$$U_{s.tunggal} = U_{s.ganda} + U_{s.ganda} (1 - U_{s.ganda}) \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{s.ganda}}$$

$$U_p = 0.00656481\% + 0.00656481\% (1 - 0.00656481\%) \frac{0.123103314}{0.035214375}$$

$$U_p = 0.000295127 = 0.0295127\%$$

$$\Delta U = U_p - U_E = 0.000295127 - 0.0000656481$$

$$\Delta U = 0.022947\%$$

5.2. Kejadian kegagalan transien

Dinyatakan dalam 17.5 km SUTT KSBRU-GROGL, dengan cara yang sama seperti perhitungan data kegagalan permanen, berdasarkan data kegagalan transien pada referensi [4] diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\lambda_{B1} + \lambda_{C1} + \lambda_{G1} = 1.2049737 \text{ kegagalan transien / tahun}$$

$$\lambda_{B2} + \lambda_{C2} + \lambda_{G2} = 0.3518168 \text{ kegagalan transien / tahun}$$

$$\lambda_L + \lambda_{B2} + \lambda_{C2} = 0.3518168 \text{ kegagalan transien / tahun}$$

$$MTTR_{i-ur} = 15.26 \text{ menit} = 0.00002903 \text{ tahun}$$

$$MTTR_{C-ur} = 13.88 \text{ menit} = 0.00002641 \text{ tahun}$$

$$MTTR_{Lr} = 14.90 \text{ menit} = 0.00002835 \text{ tahun}$$

$$\Delta\lambda = 1.204919243 \text{ kegagalan transien per tahun}$$

$$\lambda_E = 0.351871257 \text{ kegagalan transien per tahun}$$

$$\lambda_p = 1.556791500 \text{ kegagalan transien per tahun}$$

$$U_{E-ur} = 0.000997545\%$$

$$U_{P-ur} = 0.004413420\%$$

$$\Delta U_{tr} = 0.003415880\%$$

Sebagai bahan perbandingan, berikut dikutip dari Tabel 2 enam SUTT 150 kV sirkuit ganda yang mempunyai laju kegagalan paling besar dan masih dioperasikan oleh PT PLN (Persero) P3B area-2, terlihat bahwa laju kegagalan SUTT sirkuit tunggal KSBRU-GROGL hasil

analisis idealisasi data dan kejadian, maupun hasil perhitungan data nyata rata-rata 68 sirkuit SUTT di area-2, masih lebih kecil dari laju kegagalan keenam SUTT sirkuit ganda tersebut.

Tabel 2.
Enam SUTT sirkuit ganda dengan laju kegagalan paling tinggi

SUTT	Panjang (Km)	Laju Kegagalan Permanen	
		Kegagalan per tahun	Kegagalan/100km/thn
KSBRU-BKASI I-II	48.5	0.466395	0.96164
BDSL N-KM JNG I-II	28	0.931677	3.327418
PDLRG-JTLHR I-II	44.54	0.466395	1.047138
		Laju Kegagalan transien	
GARUT-DRIAT I-II	22	3.269185	14.85993
UBRNG-BDUTRI-II	20	2.329608	11.64804
CGR LG-BDSL N I-II	13.2	0.931772	7.058875

5.3. Perubahan Konfigurasi Dan Masa Hidup Sutt 150 Kv

Perubahan konfigurasi akibat penghapusan salah satu sirkuit dari struktur sirkuit ganda menjadi struktur sirkuit tunggal pada umumnya akan menyebabkan pembebanan saluran dua kali lipat pembebanan semula. Bertambahnya pembebanan akan berpengaruh pada masa hidup konduktor yang idealnya dianggap habis sampai konduktor mengalami pembebanan rata-rata sama dengan beban nominalnya.

Apabila pertumbuhan pembebanan diasumsikan sama dengan pertumbuhan konsumsi energi listrik, maka berdasarkan data pertumbuhan penjualan tenaga listrik PT. PLN (Persero) per Sektor Pelanggan (Growth of PLN Electric Energy Sales by Consumers Type) dari tahun 1970-1997, kemudian mengacu pada pertumbuhan tahun 1998-2000 dianalisis perkiraan pertumbuhan (trend) pembebanan yang diperlihatkan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3
Trend perkiraan pertumbuhan pembebanan

Thn.	Trend	Thn.	Trend	Thn.	Trend
1998	-0.0600	2006	0.1226	2014	0.1395
1999	-0.0200	2007	0.1275	2015	0.1395
2000	0.0125	2008	0.1300	2016	0.1395
2001	0.0475	2009	0.1325	2017	0.1395
2002	0.0725	2010	0.1350	2018	0.1395
2003	0.0984	2011	0.1375	2019	0.1395
2004	0.1126	2012	0.1395	2020	0.1395
2005	0.1176	2013	0.1395		

Dengan memasukan nilai pembebanan mula SUTT sirkuit ganda KSBRU-GROGL pada awal tahun 2000 sebesar 18.578% beban nominal diperoleh perkiraan sisa masa hidup selama 15 tahun. Sedangkan untuk sirkuit tunggalnya, pembebanan mula sebesar dua kali pembebanan mula existing system-nya (37.156% nominalnya), didapatkan perkiraan sisa masa hidup selama 10 tahun.

5.4. Taksiran Biaya Resiko

Rasio resiko proyek (project risk ratio) akibat perubahan ketidak-tersediaan dihitung berdasarkan perhitungan rasio resiko proyek untuk saluran transmisi udara yang mencatu secara radial suatu pusat industri, berdasarkan *esso cost model* industri eksplorasi minyak dinyatakan:

$$\alpha = \frac{CAPEX_{Existing}}{10^{-1}\%}$$

$$\text{Taksiran resiko proyek} = R = \alpha \Delta U$$

Untuk biaya modal (CAPEX) 17.5 km SUTT 150 kV sirkuit ganda KSBRU-GROGL [6] yaitu sebesar Rp. 68,279,249,198.00, dihitung dari biaya komponen, pemasangan, survei, pembebasan tanah, pekerjaan sipil, asuransi, dan lain-lain.

$$R = \frac{Rp.68.279.249.198,00}{10^{-1}\%} \Delta U$$

perubahan ketidaktersediaan optimistik yang didapat berdasarkan analisis idealisasi data dan kejadian diperoleh

$$R = \frac{Rp. 680.279.249.198,00}{\%} \times 0.00641831\%$$

$$R = Rp. 4,382,373,879.20$$

perubahan ketidaktersediaan yang didapat berdasarkan analisis data lapangan di area-2 diperoleh:

$$R = \frac{Rp. 680.279.249.198,00}{\%} \times 0.022947\%$$

$$R = Rp. 15,668,653,826.71$$

Besarnya penghematan dihitung dengan mengurangi Resiko Proyek terhadap penghematan biaya modal sebesar Rp. 17,010,917,507.00, penghematan biaya modal didapat dari penghematan komponen-komponen salah satu sirkuit termasuk komponen pada feeder-bay SUTT dikurangi biaya pembongkaran, asuransi, dan lokal transport.

$$\text{Penghematan} = \text{CAPEX saving} - R$$

Penghematan berdasarkan perubahan ketidak-tersediaan hasil analisis idealisasi kejadian dan data yaitu sebesar Rp.12,628,543,628.00, sedangkan berdasarkan hasil analisis data nyata rata-rata 68 sirkuit SUTT 150 kV di area-2 PT. PLN (Persero) P3B diperoleh penghematan sebesar Rp. 1,342,263,680.00 (terhitung pada tanggal 26 Mei 2000) [6].

5.5. Taksiran Biaya Tahunan (Annual Cost Assessment)

Berdasarkan Hukum Kelvin mengenai biaya tahunan energi yang terbuang dan susut biaya modal (capital expenditure), dimana Hukum Kelvin biasanya digunakan untuk memilih ukuran konduktor yang sesuai, menuliskan persamaan:

$$\text{Biaya Tahunan} = \frac{3CI^2R}{1000} + \frac{pwa}{100}$$

C adalah biaya energi yang terbuang dalam rupiah per kilowatt-tahun, I adalah arus per konduktor, R merupakan resistansi per mile konduktor, p adalah biaya per pound konduktor, w adalah berat per mil dari semua konduktor, dan a adalah persentase biaya tahunan uang (annual cost of money), dengan sedikit perubahan dan menerapkannya untuk SUTT 150 kV diperoleh persamaan biaya tahunan untuk SUTT sirkuit ganda adalah:

$$\text{Biaya Tahunan} = C \times \left\{ \frac{6I^2 R}{1000} + (\bar{P}_f - 6I^2 R) + \left(\frac{\lambda_{E-ir} \times MTTR_{ir}}{1000} + \frac{\lambda_{E-pm} \times MTTR_{pm}}{1000} \right) \right\} + \frac{a \times CAPEX}{100}$$

sedangkan untuk SUTT sirkuit tunggalnya dihitung dengan persamaan:

$$\text{Biaya Tahunan} = C \times \left\{ \frac{12I^2 R}{1000} + (\bar{P}_f - 12I^2 R) + \left(\frac{\lambda_{p-ir} \times MTTR_{ir}}{1000} + \frac{\lambda_{p-pm} \times MTTR_{pm}}{1000} \right) \right\} + \frac{a \times (CAPEX - saving)}{100}$$

Faktor pengali 12 pada persamaan biaya tahunan SUTT sirkuit tunggal merupakan konsekuensi bertambahnya pembebanan menjadi dua kali lipat, sedangkan variabel laju kegagalan dan waktu rata-rata perbaikan menunjukkan pecahan waktu terjadinya pemadaman dari data nyata rata-rata 68 SUTT 150 kV di PT PLN area-2.

Dengan memasukan nilai C yang diambil dari harga pokok produksi (HPP = Rp.194.47 per kWh) sebesar Rp.1,727,472.00 per kilowatt-tahun, besarnya I yang merupakan arus pembebanan rata-rata sebesar $18.578\% \times 1600 \text{ A} = 297.248 \text{ A}$, sedangkan R besarnya resistansi untuk 17.5 km konduktor ACSR 428/55mm² yaitu sebesar 0.749 ohm, dan \bar{P}_f adalah daya rata-rata yang tidak tersalurkan apabila terjadi kegagalan yaitu sebesar 31.44 MW.

Diperoleh taksiran biaya tahunan diluar biaya operasionalnya untuk SUTT sirkuit ganda KSBRU-GROGL sebesar Rp. 8,219,360,548.00, sedangkan untuk konfigurasi sirkuit tunggalnya, taksiran biaya tahunannya hanya sebesar Rp. 7,041,070,927.00 (terhitung pada tanggal 26 Mei 2000, dengan annual cost of money sebesar 11.03%)

5.6. Pertimbangan Kerugian Akibat Perubahan Masa Hidup Konduktor

Perubahan *life time* SUTT 150 kV KSBRU-GROGL (dari 15 menjadi 10 tahun) yang akan menuntun pada persyaratan yang harus dipenuhi untuk implementasi ide perubahan terutama syarat pertumbuhan pembebanan maksimum dan beban awal. Berikut adalah langkah-langkah analisis yang salah satu hasilnya diperlihatkan pada Tabel 4.

- Nilai rupiah yang didapat tiap tahun untuk Harga Pokok Produksi (HPP) Rp. 194.47 per kWh diperlihatkan pada kolom rupiah per tahun. Apabila diasumsikan bahwa tarif listrik meningkat 25% setiap 5 tahun, maka diperoleh besarnya aliran kas (cash flow) yang diperlihatkan pada kolom berikutnya.
- Nilai uang sekarang (*Present Value*) untuk aliran kas yang berkesesuaian dinyatakan oleh persamaan:

$$PV = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t}$$

disesuaikan dengan tingkat bunga uang tanggal 26 Mei 2000 sebesar 11.03%.

- Kerugian akibat ketidaktersediaan tidak menyatakan kerugian sebenarnya. Pada interval 2010 - 2015 pembebanan konduktor SUTT sirkuit ganda diperkirakan melebihi 50% nominal yang merupakan masa kritisnya. Dimana Ketidak-tersediaan menjadi:

$$U_k = U_3 \left(1 - \frac{1}{2P_k} \right) + U_E \quad (20)$$

P_k adalah pembebanan kritis satu saluran dalam fraksi pembebanan nominalnya, U_k dan U_E adalah ketidak-tersediaan kritis dan sistem existing, sedangkan λ_3 dan MTTR_i adalah laju kegagalan dan waktu rata-rata perbaikan untuk kegagalan tunggal.

Ketidak-tersediaan sistem existing pada interval tahun 2000-2009 sebesarnya $0.0000656481 + 0.0000099755 = 0.0000756236$. Sedangkan untuk interval 2010 - 2015 ketidak-tersediaan merupakan penjumlahan ketidaktersediaan existing dengan ketidaktersediaan kritisnya.

d. Rugi-rugi akibat ketidak-tersediaan untuk SUTT sirkuit ganda dihitung dengan mengalikan present value dengan ketidak-tersediaan yang

berkesesuaian, hasilnya diplot pada kolom Rugi-rugi, dengan total rugi sebesar Rp. 535,408,280.00. Besarnya present value aliran kas untuk konfigurasi sirkuit ganda setelah dikurangi rugi-rugi adalah sebesar Rp. 4,756,357,903,344.00

e. Ketidak-tersediaan sirkuit tunggal adalah sama selama masa hidupnya yaitu sebesar 0.0003392612. Diperoleh besarnya rugi total Rp. 933,189,905.00 (bukan merupakan rugi akibat ketidak-tersediaan yang sebenarnya) dan didapatkan present value aliran kas untuk konfigurasi sirkuit tunggal sebesar Rp. 2,749,720,009,315.00.

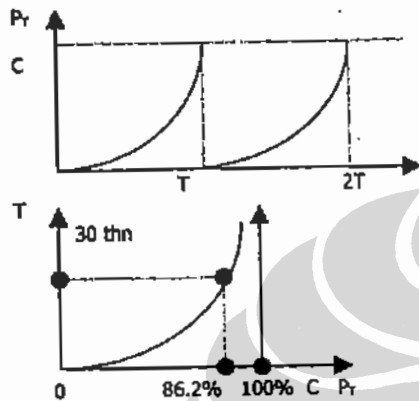
Tabel 4

Masa hidup dan perhitungan present value aliran kas SUTT 150 kV KSBURU-GROGL sirkuit ganda

Masa Hidup	Beban (%nom)	Beban MWH/thn	Nilai Rupiah Per Tahun	Aliran Kas (Rupiah)	Present Value (Rupiah)	Ketidak-tersedian	Rugi Daya Hilang
2000	0.1857	1156737.57	228,108,649,191	228,108,649,191	228,108,649,191	7.56E-05	17,250,397
2001	0.1946	1211685.41	238,944,362,556	238,944,362,556	215,207,027,431	7.56E-05	16,274,730
2002	0.2087	1299527.23	256,266,769,827	256,266,769,827	207,879,476,817	7.56E-05	15,720,594
2003	0.2292	1427373.57	281,478,067,566	281,478,067,566	205,647,550,703	7.56E-05	15,551,808
2004	0.2550	1588020.49	313,157,641,566	313,157,641,566	206,063,776,310	7.56E-05	15,583,285
2005	0.2850	1774693.71	349,969,598,781	437,461,998,476	259,261,860,673	7.56E-05	19,606,315
2006	0.3199	1992181.29	392,858,150,381	491,072,687,976	262,122,162,206	7.56E-05	19,822,622
2007	0.3607	2246086.99	442,928,354,952	553,660,443,691	266,171,233,800	7.56E-05	20,128,827
2008	0.4076	2537967.41	500,487,173,215	625,608,966,518	270,882,061,618	7.56E-05	20,485,077
2009	0.4616	2874117.42	566,775,954,313	708,469,942,892	276,285,677,260	7.56E-05	20,893,718
2010	0.5238	3261977.54	643,261,970,483	1,005,096,828,880	353,024,222,026	8.66E-05	30,581,888
2011	0.5959	3710339.43	731,678,935,863	1,143,248,337,285	361,656,970,874	1.14E-04	41,392,942
2012	0.6790	4227932.49	833,748,286,162	1,302,731,697,128	371,168,321,076	1.39E-04	51,680,178
2013	0.7737	4817726.69	950,055,702,431	1,484,462,035,049	380,929,562,089	1.61E-04	61,324,060
2014	0.8817	5489802.55	1,082,589,062,285	1,691,545,409,821	390,947,917,057	1.80E-04	70,398,656
2015	1.0046	6255629.07	1,233,610,052,297	2,409,394,633,393	501,536,842,493	1.97E-04	98,713,183
				PV total	Rp. 4,756,893,311,624.00		

6. Biaya Operasional Dan Kebijakan Pencucian Isolator

Usaha untuk mengurangi pengaruh debu yang semakin bertambah seiring dengan waktu yaitu dengan memperhatikan kebijakan pencucian isolator dalam rangka mengurangi peluang terjadinya gangguan (P_T) untuk pencucian isolator yang dilakukan setiap periode T .



Gambar 5.

Kurva kejadian kegagalan terhadap periode pencucian isolatur.

Misal: $C = 20\%$, maka $T_{20\%} = 3,6$ tahun
 $C = 50\%$, maka $T_{50\%} = 11$ tahun

Pencucian isolator yang biasa dilakukan PT. PLN (Persero) P3B pada SUTT di area-2 yaitu secara manual (dilap pada keadaan tak bertegangan) dengan menggunakan cairan pembersih isolator (shakapen) termasuk kedalam kebijakan pemeliharaan lima tahunan, sehingga asumsi kejadian kegagalan akibat debu terjadi tiap 8 tahun sekali cukup tepat, dimana peluang kejadian kegagalan untuk kebijakan pencucian setiap 5 tahun sekali adalah:

$$P_5 = 1 - e^{-0.06248 \times 5} = 26.8 \%$$

mengakibatkan masalah kegagalan akibat debu bisa diabaikan. Disamping itu pengaruh perubahan konfigurasi dari dua kanal saluran menjadi satu kanal terhadap biaya operasional adalah tidak ada, khusus untuk kebijakan pencucian isolator yang biasa dilakukan dalam periode lima tahunan akan membebani biaya operasional (OPEX) sebesar :

$1/2 \times \text{Rp. } 13,195,800.00$.

7. Kesimpulan

1. Penghapusan salah satu sirkuit SUTT 150 kV KSBURU-GROGL akan menghasilkan penghematan biaya modal sebesar Rp. 17,010,917,507.00.
2. Berdasarkan analisis idealisasi data dan kejadian yang bisa dianggap sebagai tinjauan optimistik, diperoleh $\Delta\lambda = 0.06248$ kegagalan per tahun sedangkan $\Delta U = 0.00641831\%$
3. Taksiran resiko secara finansial dari perubahan ketidak-tersediaan berdasarkan
 - analisis idealisasi data, $R = \text{Rp. } 4,382,373,879.20$
 - data nyata, $R = \text{Rp. } 15,668,653,826.71$
 sehingga besarnya penghematan (CAPEX saving Project Risk) untuk analisis idealisasi data dan kejadian adalah sebesar Rp. 12,628,543,628.00, sedangkan berdasarkan analisis data lapangan besarnya penghematan adalah Rp. 1,342,263,680.29.
4. Pengaruh bertambahnya arus menjadi dua kali lipatnya, untuk kasus yang ditinjau, akan menyebabkan berkurangnya masa hidup konduktor (diasumsikan sama dengan masa hidup SUTT-nya) dari 15 tahun menjadi 10 tahun. Pengurangan masa hidup ini akan menyebabkan berkurangnya present value aliran kas dari Rp. 4,756,357,903,344.00 menjadi Rp. 2,749,720,009,315.00

Fakta yang kontroversial terhadap makalah ini, akan menuntun pada persyaratan perencanaan implementasi ide perubahan, yaitu:

1. SUTT 150 kV mencatu atau menghubungkan rel dengan pertumbuhan cenderung konstan. Misalnya: SUTT yang menghubungkan suatu pembangkit, SUTT yang mencatu suatu pusat industri eksplorasi atau pertambangan, atau SUTT yang mencatu titik beban dengan pertumbuhan dianggap tidak terlalu tajam atau titik beban jenuh.
2. SUTT dengan pembebanan mulanya kecil.
5. Kebijakan pencucian isolator lima tahunan yang dilakukan PT. PLN (Persero) P3B

area-2 akan menyebabkan peluang terjadinya kegagalan akibat debu hanya sebesar 26.8%. Peluang kegagalan 26.8% tidak memerlukan kebijakan pencucian isolator tambahan, dengan kata lain, tidak akan mempengaruhi biaya operasional (OPEX).

Daftar Acuan

1. Billinton R, Medicherla T.K.P, and Sachve M.S, 1981. *Application of Common-Cause Outage Models in Composite System Reliability Evaluation*. IEEE Transmission Power Apparatus System PAS 100, 3648 - 3657.
2. Robertson M. 1985. *Perilaku kilat pada Isolator Tak Seimbang*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro ITB.
3. N. I. Sinisuka, Hartono Sukintaatmadja, F. Gourd. 2000. *Value Engineering Applied to the Electrical for the Private Industry*. Sector. Department of Electrical Engineering ITB, PT Indokomas.
4. Aa Rachmat, 1999. *Catatan Harian Kejadian Gangguan SUTT dan SUTET, Mei 1997 - September 1999*. PT PLN P3B UPB Cigereleng.
5. Billinton R. 1976. *Common Mode Forced Outages Transmission Lines*. IEEE Transmission Power Apparatus System PAS 95, 859 - 863.
6. PT PLN (persero), PT Primanaya Djan International. 1998. *West Java, Central Java, and East Java Substation and Transmission Line Project Original Contract*. PT PLN Proyek Jaringan Timur.
7. KT. Sirait, R. Zoro. 1987. *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*. Jurusan Teknik Elektro ITB.
8. Edward D. Heller. 1971. *Management Value Engineering and Cost Reduction*, Butterworths

