



Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Section Technique pada PT. PLN (Persero) Rayon Belawan

Gunawan Sihombing

Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

gunawansihombing6939@gmail.com*

*corresponding author

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the reliability index of SAIDI, SAIFI and CAIDI using the Section Technique method and evaluate the reliability according to the IEEE Std 1366-2003 Reliability Index Standard. PLN (Persero) Belawan District. Based on the results of the reliability index analysis using the section technique method, the SAIFI reliability index value for the Lamhotma 01 feeder (LH01) is 1.6 times customers/year, exceeding the standard set by IEEE Std 1366-2003 which is 1.45 times customers/year, and meets the standard. SPLN is set at 3.0 times customers/year. The SAIDI value of the Lamhotma 01 feeder (LH01) is 2.0 hours/year. 6 hours/customer exceeds the standard set by IEEE-1366-2003 which is 1.47 hours/customer and exceeds the standard set by SPLN. And the energy that is not distributed (ENS) due to the blackout at the Lamhotma feeder in 2021 is 32681.33 kWh and the average energy is not channeled 4.7 kWh / customer and the economic loss is estimated at Rp 40,105.090.00.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI menggunakan metode *Section Technique* dan mengevaluasi keandalan sesuai dengan Standar Indeks Keandalan IEEE Std 1366 – 2003. Mengetahui rata-rata energi yang tidak tersalurkan secara teknis dan ekonomis akibat terjadinya pemadaman di PT. PLN (Persero) Rayon Belawan. Berdasarkan hasil analisis indeks keandalan dengan menggunakan metode *section tehnikue* nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah 1,6 kali pelanggan/tahun melebihi standar yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003 yaitu 1,45 kali pelanggan/tahun, dan memenuhi standar yang di tetapkan SPLN sebesar 3,0 kali pelanggan/tahun. Nilai SAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah Sebesar 2,0 jam/tahun memenuhi standar yang telah di tetapkan IEEE std 1366-2003 yaitu 2.30 jam/tahun, dan juga memenuhi standar SPLN, dan nilai CAIDI penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,6 jam/pelanggan melebihi standar yang di tetapkan IEEE-1366-2003 yaitu 1,47 Jam/pelanggan, dan juga melebihi standar yang di tetapkan SPLN. Serta energi yang tidak tersalurkan (ENS) akibat terjadinya pemadaman pada penyulang Lamhotma tahun 2021 sebesar 32681,33 kWh dan rata-rata energi tak tersalurkan 4,7 kwh/pelanggan dan kerugian ekonomis diperkirakan sebesar Rp 40.105.090,00.

Article Info

Article history

Received:
October 19th, 2022

Revised:
November 3rd, 2022

Accepted:
November 6th,
2022

Keywords:

reliability,
feeder,
SAIFI,
SAIDI,
CAIDI,

PENDAHULUAN

Reliability Index merupakan suatu metode untuk mengevaluasi parameter keandalan suatu sistem distribusi tenaga listrik dalam kaitannya dengan keandalan kualitas pelayanan kepada pelanggan. Keandalan merupakan ukuran keberhasilan atau kinerja alat dalam memberikan hasil yang lebih baik selama periode waktu tertentu (J. K. Koster et al., 1978). Indeks keandalan yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem distribusi adalah SAIFI, SAIDI, dan CAIDI (R. Syahputra, 2016). Standar yang digunakan sebagai tolak ukur untuk metrik keandalan sistem distribusi listrik adalah standar Indeks Keandalan IEEE Std 1366-2003. Metode seksi adalah metode untuk menentukan indeks keandalan sistem distribusi. Jika indeks keandalan sistem diketahui, maka dimungkinkan untuk menganalisis nilai ekonomi di pihak PLN dari harga jual tenaga listrik dan biaya pemeliharaan sistem distribusi. Dari hasil analisis yang diperoleh dikaitkan dengan aspek reliabilitas sehingga reliabilitas dapat dievaluasi guna meminimalkan kerugian yang ditimbulkan (Praditama et al., 2014). Metode teknik seksi adalah metode terstruktur untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi listrik berdasarkan pengaruh kegagalan perangkat terhadap operasi sistem (B. Pada et al., 2016). Secara sistematis, efek dan konsekuensi kegagalan diidentifikasi dengan menganalisis apa yang terjadi ketika kegagalan terjadi dan menganalisis perangkat yang gagal dari semua titik beban (Brown, 2017). Untuk menghitung nilai keandalan menggunakan metode seksi, bagilah sistem distribusi menjadi beberapa bagian dan periksa pengaruh kegagalan masing-masing perangkat terhadap semua pelanggan di jaringan distribusi. Kecamatan Medan Belawan merupakan salah satu kecamatan di Kota Medan yang telah berperan serta dalam pembangunan ekonomi Indonesia dan sangat maju dalam hal bisnis dan industri. Sebagai salah satu pusat industri, Belawan tentu membutuhkan pasokan listrik. Listrik merupakan kebutuhan pokok masyarakat Belawan, dan kebutuhan energi semakin meningkat dari tahun ke tahun. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan tenaga listrik, maka perlu dilakukan perluasan sektor pembangkitan

dan perbaikan infrastruktur agar proses transmisi tenaga listrik ke konsumen dapat dilakukan dengan lancar.

Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik umumnya terdiri dari tiga bagian: pembangkit tenaga, transmisi, dan distribusi. Yang pertama adalah penciptaan tegangan yang dihasilkan oleh pusat energi listrik. Kedua, sistem transmisi dengan gardu induk (Dasman & Handayani, 2017). Ketiga, Sistem distribusi terdiri dari saluran distribusi tegangan menengah (TM) primer dan saluran distribusi tegangan menengah dan tegangan rendah (TR). Saluran listrik utama, yang biasa dikenal dengan sistem distribusi, terdiri dari 6 kV dan 20 kV dan dikendalikan oleh pusat kendali distribusi (DCC). Jaringan distribusi untuk kabel atas atau bawah tanah, stasiun distribusi tegangan menengah dengan panel sakelar tegangan menengah ke distributor tegangan rendah (380V, 220V) untuk menghasilkan tegangan operasi atau listrik untuk bisnis dan konsumen (Pramono, 2010; Stevenson & William, 1993). Beberapa pelanggan dengan kebutuhan daya tinggi mungkin tidak dapat terhubung ke jaringan tegangan rendah dan mungkin perlu terhubung langsung ke jaringan tegangan tinggi, atau terhubung langsung ke saluran transmisi tegangan tinggi. Trafo distribusi dibuat untuk gardu distribusi. Hal ini dikarenakan suatu gardu distribusi memiliki banyak distribusi dan membutuhkan banyak trafo distribusi. Gardu distribusi daya sering disederhanakan dengan saluran listrik menjadi transformator kutub sederhana.

Keandalan adalah probabilitas yang mewakili dasar atau kualitas yang memungkinkan suatu perangkat listrik untuk mengoptimalkan fungsi dan kinerjanya sesuai dengan kondisi dan keadaan (Pratama, 2019). Dalam menilai keandalan sistem distribusi, perlu dilakukan perhitungan indeks keandalan untuk jangka waktu tertentu.

Parameter yang biasa digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi radial adalah tingkat kegagalan (λ), waktu rata-rata kegagalan (μ), dan waktu kegagalan tahunan (U).

1. Laju Kegagalan (λ)

Tingkat kegagalan merupakan frekuensi kegagalan sistem, yang dinyatakan sebagai tingkat keandalan sistem sebagai fungsi dari waktu sistem telah beroperasi, dan dirumuskan sebagai berikut (VOLY, 2020).

$$\lambda = \frac{\text{jumlah gangguan setiap tahun}}{\text{selang waktu pengamatan dalam satu tahun}}$$

atau

$$\lambda = \frac{f}{T} \tag{1}$$

Keterangan:

λ : laju kegagalan

f : jumlah kegagalan pada waktu pengamatan (kali/tahun)

T : selang waktu pengamatan dalam satu tahun (tahun)

2. Laju Perbaikan rata-rata (μ)

Jumlah jam yang diperlukan untuk mengganti atau memperbaiki perangkat yang rusak dan membuatnya berfungsi kembali. Persamaan 2 dapat digunakan dalam perhitungan untuk menentukan rata-rata laju kegagalan yang dialami alat.

$$\mu = \frac{\text{lama pemadaman}}{\text{jumlah pemadaman}}$$

atau

$$\mu = \frac{T}{f} \tag{2}$$

Keterangan:

μ : laju perbaikan rata-rata (jam)

f : jumlah pemadaman selama selang waktu (kali)

T : lama pemadaman (jam)

3. Durasi Pemadaman Rata-rata (U)

Persamaan 3 digunakan untuk menghitung durasi pemadaman dengan mengalikan tingkat pemadaman dengan waktu perbaikan.

$$U = \lambda(\text{laju kegagalan}) * \mu(\text{laju perbaikan})$$

atau

$$U = \lambda \frac{\text{kali}}{\text{bulan}} * \mu \frac{\text{menit}}{\text{kali}} \tag{3}$$

Tabel 1. Standar PLN No. 59 Tahun 1985 Kegagalan Peralatan (Energi, 1985)

Peralatan	Laju Kegagalan (kali unit/tahun)	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
Saluran udara	0,2	3	0,15
Kabel saluran	0,07	10	0,15
Circuit breaker	0,004	10	0,15
Sakelar beban	0,003	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15
Rescloser	0,005	10	0,15
Transformator	0,005	10	0,15

Indeks Keandalan Sistem

Untuk menghitung nilai rata indeks keandalan dapat di hitung menggunakan (J. K. Koster et al., 1978; Kobayashi, 2016).

1. SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*)

SAIDI adalah tingkat kegagalan rata-rata untuk setiap pelanggan selama periode waktu tertentu. Gunakan Persamaan 4 untuk menetapkan jumlah dan durasi pemadaman berturut-turut untuk semua pelanggan selama periode waktu tertentu.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=0}^n (\text{Durasi Pemadaman} \times \text{Pelanggan Padam})}{\text{Jumlah Pelanggan dalam satu periode}}$$

atau

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=0}^n U_i \times N_i}{N_t} \text{ (jam/pelanggan)} \tag{4}$$

Keterangan:

U_i = Durasi Pemadaman tahun titik beban i (jam/tahun)

N_i = Jumlah pelanggan padam pada titik beban i (pelanggan)

N_t = Jumlah pelanggan total dalam satu tahun (Pelanggan)

2. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

Rata-rata jumlah pemadaman yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu (biasanya satu tahun). Ini dihitung dengan membagi jumlah total pemadaman per unit waktu dengan jumlah total pelanggan yang dilayani oleh sistem. Ini dirumuskan dalam Persamaan 5.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=0}^n \lambda_i \times N_i}{N_t} \text{ (Kali/Pelanggan)} \tag{5}$$

Keterangan:

λ_i = Laju Kegagalan rata-rata untuk titik beban k (Kali/tahun)

N_i = Jumlah Pelanggan Padam pada titik bebani (Pelanggan)

N_t = Jumlah Pelanggan Total dalam satu tahun (Pelanggan)

3. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Indeks*)

CAIDI adalah ukuran lamanya waktu atau gangguan yang dialami oleh konsumen. CAIDI, adalah durasi gangguan rata-rata yang ditentukan berdasarkan jumlah gangguan yang berkelanjutan. dirumuskan dalam Persamaan 6:

$$CAIDI = \frac{\text{Indeks durasi pemadaman rata - rata}}{\text{Indeks frekuensi pemadaman rata - rata}}$$

atau

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \text{ (jam/Pelanggan)} \tag{6}$$

Keterangan:

SAIDI = Indeks durasi pemadaman rata-rata

SAIFI = Indeks frekuensi pemadaman rata-rata

Standar Indeks Keandalan Sesuai dengan SPLN No 59 Tahun 1985 dan standar IEEE Std 1366 -2003. Tujuan dari standar ini adalah untuk memberikan pedoman yang bertujuan untuk mengevaluasi dan menentukan keandalan sistem distribusi listrik, dan menjadi tolok ukur kemajuan dalam menentukan proyeksi yang dibuat oleh PT. PLN (Persero) Rayon Belawan.

Tabel 2 Standar Indeks Keandalan (SPLN, No. 59 tahun 1985)

Indeks	Standar
SAIFI	3,0 kali pelanggan/tahun
SAIDI	1,5 jam pelanggan/tahun
CAIDI	1,5-3,0 jam/gangguan

Tabel 3 Standar Indeks Keandalan IEEE Std 1366-2003 (Standard, 2003).

Indeks	Standar
SAIFI	1,45 kali pelanggan /tahun
SAIDI	2,30 jam pelanggan/tahun
CAIDI	1,47 jam/gangguan

Metode Section Technique

Metodologi *Section Technique* merupakan metode terstruktur untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi listrik berdasarkan bagaimana kegagalan perangkat mempengaruhi operasi sistem. Dengan menganalisis apa yang terjadi ketika kesalahan terjadi, kami secara sistematis mengidentifikasi dampak atau konsekuensi dari kesalahan peralatan dari semua titik beban. Pendekatan *bottom-up* yang mempertimbangkan hanya satu mode kegagalan pada satu waktu. Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks titik beban rata-rata, total dan indeks sistem, dan indeks titik beban (Putra & Nurhadiyanto, 2019).

Indeks Keandalan Secara Ekonomis

Indeks Keandalan Ekonomis adalah teknik yang digunakan untuk mengukur pencapaian penghematan biaya atau efisiensi biaya. Produk yang dihasilkan diperiksa lebih lanjut untuk proses dan implementasi layanan. Ini memperhitungkan faktor biaya di samping persyaratan pemeliharaan (Praditama et al., 2014).

Persamaan yang digunakan dalam menghitung secara ekonomis adalah dengan melalui persamaan pada sistem, yaitu:

1. Daya Aktif

Daya aktif digunakan untuk menghitung daya yang ditarik ketika terjadi gangguan dan dapat dirumuskan dalam Persamaan 7 (R. Syahputra, 2016):

$$Daya\ aktif = \sqrt{3} x V x I x \cos\phi \tag{7}$$

Keterangan:

V = teggangan (kV)

I = kuat Arus (A)

Cos ϕ =0,8 (rata-rata cos ϕ pada masing masing penyulang)

2. *Energy Not Supplied* (ENS)

ENS adalah metrik keandalan yang mewakili jumlah energi yang tidak diberikan sistem selama gangguan atau pemadaman listrik. Ini juga termasuk jumlah kWh yang hilang karena padam, seperti yang terlihat pada Persamaan 8 (Praditama et al., 2014).

$$ENS = \sum \text{Gangguan}(kW) \times \text{Durasi (jam)} \tag{8}$$

Keterangan:

ENS = Energi tak tersalurkan (kWh)

\sum gangguan = Jumlah daya Aktip yang mengalami gangguan (kW)

Durasi = Lamanya gangguan terjadi (jam)

3. *Average Energy Not Supplied* (AENS)

AENS adalah indeks energi rata-rata yang tidak tersalurkan akibat pemadaman. AENS dinyatakan dengan jumlah energi yang hilang saat terjadi pemadaman dibandingkan dengan jumlah pelanggan yang masih memiliki daya dan dapat dirumuskan dalam Persamaan 9.

$$AENS = \frac{\text{jumlah energi yang tidak tersalurkan oleh sistem}}{\text{jumlah pelanggan yang di layani}}$$

atau

$$AENS = \frac{ENS}{\sum n} \tag{9}$$

Keterangan:

AENS = *Average Energy Not Supplied* (Rata-rata energi yang tidak tersalurkan)

$\sum n$ = Jumlah Pelanggan yang dilayani

Tarif Dasar Listrik

Tarif dasar listrik adalah tarif yang dibebankan oleh pemerintah kepada konsumen tenaga listrik. Metode perhitungan besaran rugi rupiah yang digunakan dalam penelitian ini hampir sama dengan sistem tarif konsumsi daya pada umumnya, namun kWh yang diperhitungkan dalam penelitian ini adalah kWh

yang tidak dapat dijual yaitu nilai listrik yang tidak terjual. Energi terdistribusi (ENS) dapat diperluas menggunakan Persamaan 12 (Praditama et al., 2014).

$$\text{Kerugian Ekonomis} = ENS \times TDL \tag{10}$$

Keterangan:

ENS = Energy Not Supplied (energi tak tersalurkan)

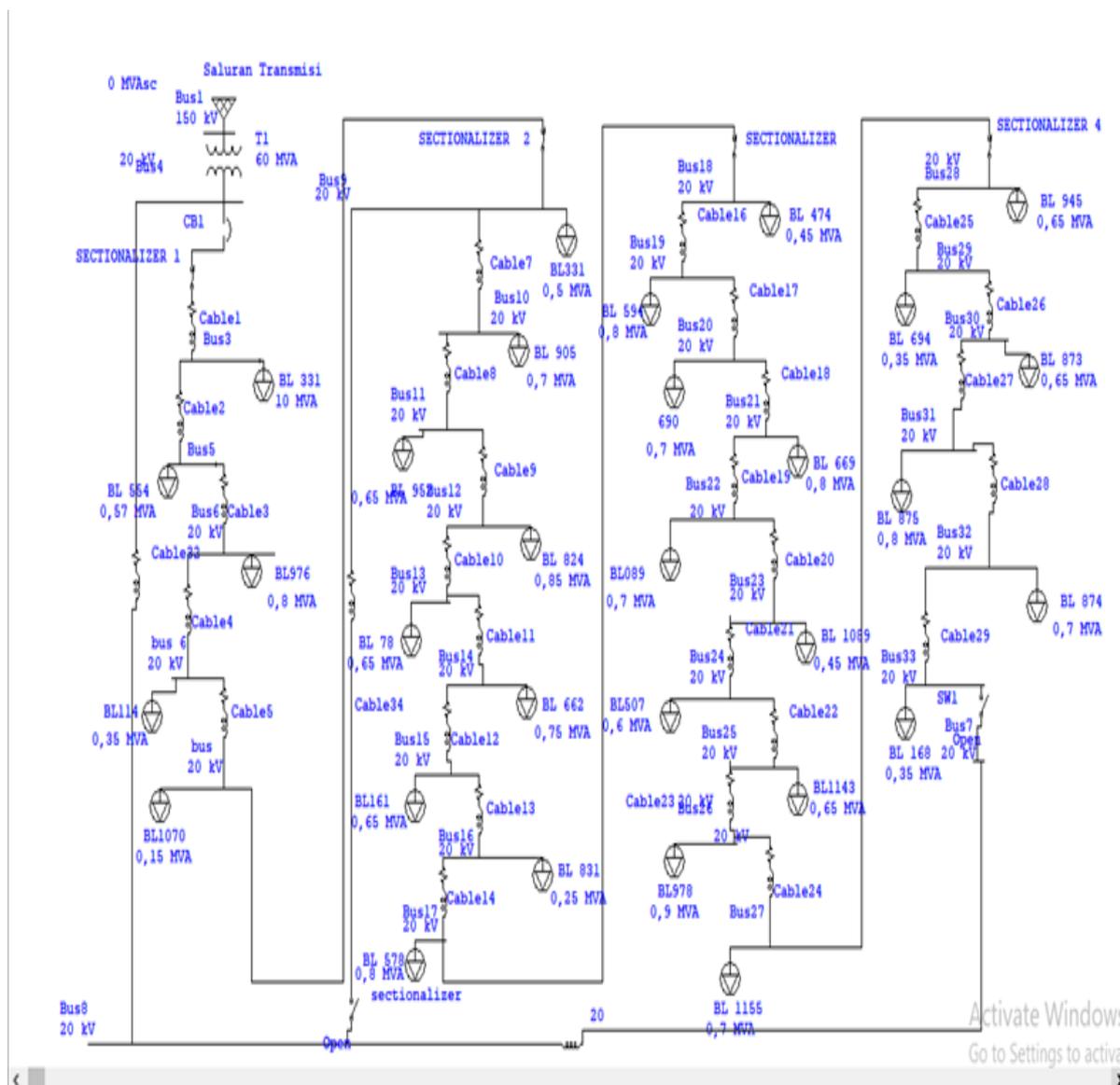
TDL = Tarif dasar listrik peraturan menteri ESDM No. 10 tahun 2022

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. PLN (Persero) Rayon Belawan merupakan unit pelaksana pelayanan pelanggan di wilayah kerja kota Belawan yang memiliki peranan penting dan memiliki tanggung jawab dalam memberikan pelayanan dan kualitas energi yang terjamin sesuai dengan standar dalam penyaluran energi listrik kepada konsumen. Kajian difokuskan pada jaringan distribusi 20kV PT.PLN (Persero) Rayon Belawan yang terdiri dari 32 penyulang, atau salah satu penyulang dari 32 penyulang PT.PLN (Persero) Rayon Belawan adalah penyulang Lamhotma. Penyulang Lamhotma ditenagai oleh gardu induk Paya Pasir 60MVA dengan beban yang berbeda (beban industri dan beban domestik) di setiap titik beban. Penyulang Ramhotoma memiliki 30 titik beban berupa trafo distribusi, dengan jumlah pelanggan 6854 pelanggan, penyulang ini terbagi dalam 30 rangkaian dengan total panjang rangkaian 11.129km dan kapasitas beban 135A. Lamhotma Feeder 01 (LH01) terdiri dari 5 sectionalizer dan feeder ini terbagi menjadi 4 section (bagian).

Analisis indeks keandalan dengan metode section

Pada tahap pertama, penyulang dibagi menjadi beberapa bagian dan penyulang Lamhotma dibagi menjadi empat bagian, Bagian I, Bagian II, Bagian III dan Bagian IV, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penyulang Lamhotma 01 (LH01) Menggunakan Metode Section

Analisis indeks keandalan dengan metode section technique

Analisis keandalan menggunakan data dari saluran udara dan jumlah pelanggan di setiap titik beban. Nilai tingkat kegagalan (λ) untuk setiap titik beban dihitung dengan menambahkan tingkat kegagalan (TB) peralatan yang berdampak pada setiap titik beban dan tingkat kegagalan saluran ke panjang saluran atau dapat dianalisis menggunakan Persamaan 13.

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=k}^0 \lambda_i \tag{13}$$

Untuk menghitung durasi kegagalan (U) untuk setiap titik beban diperoleh dengan mengalikan jumlah transformator distribusi

gagal yang perlu diperbaiki dikalikan durasi pemadaman dan jumlah perkalian. Jumlah trafo distribusi yang gagal. Waktu perbaikan untuk setiap perangkat ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Berikut adalah hasil analisis lengkap laju kegagalan dan durasi gangguan pada section I – IV dapat di lihat pada Tabel 4 sampai Tabel 7.

Tabel 4. Hasil Analisis Laju Kegagalan (λ) dan Durasi (U) Gangguan Titik Beban pada *section I*

Titik beban	Laju kegagalan (kali pelanggan/tahun)	Durasi pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 1	0,3378	1,0974
Titik Beban 2	0,3378	1,0974
Titik Beban 3	0,3378	1,0974
Titik Beban 4	0,3378	1,0974
Titik Beban 5	0,3378	1,0974
Titik Beban 6	0,3328	0,05007
Titik Beban 7	0,3328	0,05007
Titik Beban 8	0,3328	0,05007
Titik Beban 9	0,3328	0,05007
Titik Beban 10	0,3328	0,05007
Titik Beban 11	0,3328	0,05007
Titik Beban 12	0,3328	0,05007
Titik Beban 13	0,3328	0,05007
Titik Beban 14	0,3328	0,05007
Titik Beban 15	0,3328	0,05007
Titik Beban 16	0,3328	0,05007
Titik Beban 17	0,3328	0,05007
Titik Beban 18	0,3328	0,05007
Titik Beban 19	0,3328	0,05007
Titik Beban 20	0,3328	0,05007
Titik Beban 21	0,3328	0,05007
Titik Beban 22	0,3328	0,05007
Titik Beban 23	0,3328	0,05007
Titik Beban 24	0,3328	0,05007
Titik Beban 25	0,3328	0,05007
Titik Beban 26	0,3328	0,05007
Titik Beban 27	0,3328	0,05007
Titik Beban 28	0,3328	0,05007
Titik Beban 29	0,3328	0,05007
Titik Beban 30	0,3328	0,05007

Tabel 5. Hasil Analisis Laju Kegagalan dan Durasi Gangguan Titik Beban pada bagian II

Titik Beban	Laju Kegagalan (gangguan/tahun)	Durasi pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 1	0,6386	1,9788
Titik Beban 2	0,6386	1,9788
Titik Beban 3	0,6386	1,9788
Titik Beban 4	0,6386	1,9788
Titik Beban 5	0,6386	1,9788
Titik Beban 6	0,6436	2,0288
Titik Beban 7	0,6436	2,0288
Titik Beban 8	0,6436	2,0288
Titik Beban 9	0,6436	2,0288
Titik Beban 10	0,6436	2,0288
Titik Beban 11	0,6436	2,0288
Titik Beban 12	0,6436	2,0288
Titik Beban 13	0,6436	2,0288
Titik Beban 14	0,6436	2,0288
Titik Beban 15	0,6436	0,09579
Titik Beban 16	0,6436	0,09579
Titik Beban 17	0,6436	0,09579
Titik Beban 18	0,6436	0,09579
Titik Beban 19	0,6436	0,09579
Titik Beban 20	0,6436	0,09579
Titik Beban 21	0,6436	0,09579
Titik Beban 22	0,6436	0,09579
Titik Beban 23	0,6436	0,09579
Titik Beban 24	0,6436	0,09579
Titik Beban 25	0,6436	0,09579
Titik Beban 26	0,6436	0,09579
Titik Beban 27	0,6436	0,09579
Titik Beban 28	0,6436	0,09579
Titik Beban 29	0,6436	0,09579
Titik Beban 30	0,6436	0,09579

Tabel 6. Hasil Analisis Laju Kegagalan (λ) Peralatan dan Durasi Gangguan (U) pada Titik Beban bagian III

Titik Beban	Laju Kegagalan (kali/tahun)	Durasi Pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 1	0,7064	2,1822
Titik Beban 2	0,7064	2,1822
Titik Beban 3	0,7064	2,1822
Titik Beban 4	0,7064	2,1822
Titik Beban 5	0,7064	2,1822
Titik Beban 6	0,7064	2,1822
Titik Beban 7	0,7064	2,1822
Titik Beban 8	0,7064	2,1822
Titik Beban 9	0,7064	2,1822
Titik Beban 10	0,7064	2,1822
Titik Beban 11	0,7064	2,1822
Titik Beban 12	0,7064	2,1822
Titik Beban 13	0,7064	2,1822
Titik Beban 14	0,7064	2,1822
Titik Beban 15	0,7084	0,10671
Titik Beban 16	0,7084	0,10671
Titik Beban 17	0,7084	0,10671
Titik Beban 18	0,7084	0,10671
Titik Beban 19	0,7084	0,10671
Titik Beban 20	0,7084	0,10671
Titik Beban 21	0,7084	0,10671
Titik Beban 22	0,7084	0,10671
Titik Beban 23	0,7084	0,10671
Titik Beban 24	0,7084	0,10671
Titik Beban 25	0,7064	0,10506
Titik Beban 26	0,7064	0,10506
Titik Beban 27	0,7064	0,10506
Titik Beban 28	0,7064	0,10506
Titik Beban 29	0,7064	0,10506
Titik Beban 30	0,7064	0,10506

Tabel 7. Hasil Analisis Laju Kegagalan dan Durasi Gangguan Titik Beban bagian IV

Titik Beban	Laju Kegagalan (kali pelanggan/tahun)	Durasi pemadaman (jam/tahun)
Titik Beban 1	0,4796	0,07194
Titik Beban 2	0,4796	0,07194
Titik Beban 3	0,4796	0,07194
Titik Beban 4	0,4796	0,07194
Titik Beban 5	0,4796	0,07194
Titik Beban 6	0,4796	0,07194
Titik Beban 7	0,4796	0,07194
Titik Beban 8	0,4796	0,07194
Titik Beban 9	0,4796	0,07194
Titik Beban 10	0,4796	0,07194
Titik Beban 11	0,4796	0,07194
Titik Beban 12	0,4796	0,07194
Titik Beban 13	0,4796	0,07194
Titik Beban 14	0,4796	0,07194
Titik Beban 15	0,4796	0,07194
Titik Beban 16	0,4796	0,07194
Titik Beban 17	0,4796	0,07194
Titik Beban 18	0,4796	0,07194
Titik Beban 19	0,4796	0,07194
Titik Beban 20	0,4796	0,07194
Titik Beban 21	0,4796	0,07194
Titik Beban 22	0,4796	0,07194
Titik Beban 23	0,4796	0,07194
Titik Beban 24	0,4796	0,07194
Titik Beban 25	0,4846	1,5518
Titik Beban 26	0,4846	1,5518
Titik Beban 27	0,4846	1,5518
Titik Beban 28	0,4846	1,5518
Titik Beban 29	0,4846	1,5518
Titik Beban 30	0,4846	1,5518

Nilai SAIFI pada titik beban 1 nilai SAIFI dapat di tentukan dengan mengalikan antara laju kegagalan dengan pelanggan padam kemudian membagi dengan total pelanggan yang dilayani atau menggunakan Persamaan (5).

$$SAIFI_{TB1} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times N_i}{N_t} \text{ kali pelanggan/tahun}$$

$$SAIFI_{TB1} = \frac{0,6386 \times 415}{11974}$$

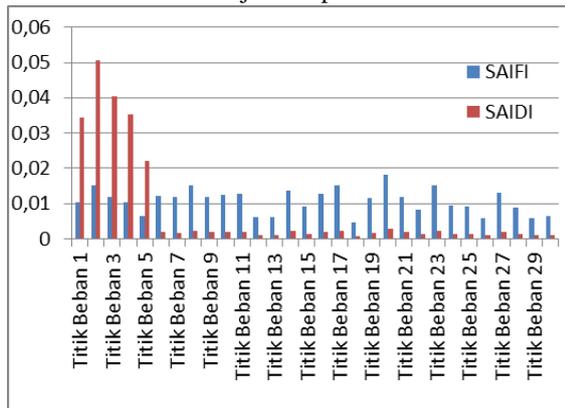
$$= 0,022138418 \text{ kali pelanggan/tahun}$$

Nilai SAIDI pada titik beban 1 dapat ditentukan dengan mengalikan antara durasi kegagalan dengan pelanggan padam kemudian membagi dengan total pelanggan yang dilayani atau menggunakan Persamaan 4.

$$SAIDI_{TB1} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \times N_i}{N_t} \text{ jam /pelanggan}$$

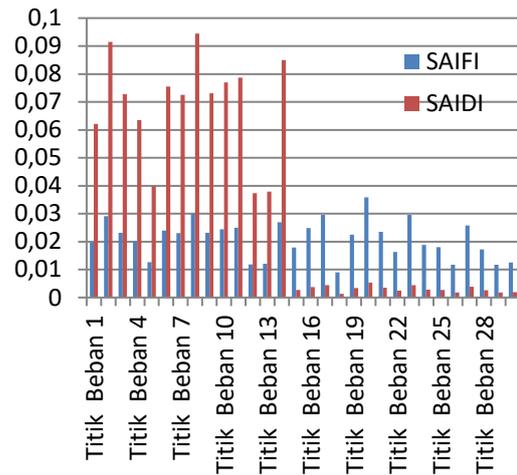
$$SAIDI_{TB1} = \frac{1,9788 \times 415}{11974} = 0,06859928 \text{ jam/pelanggan}$$

Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section I ditunjukkan pada Gambar 2.



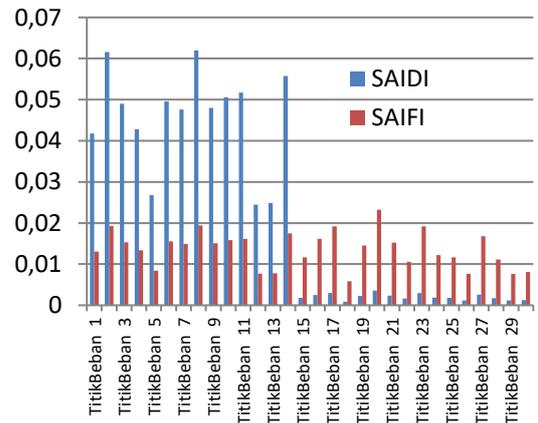
Gambar 2. Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section I

Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section II ditunjukkan pada Gambar 3.



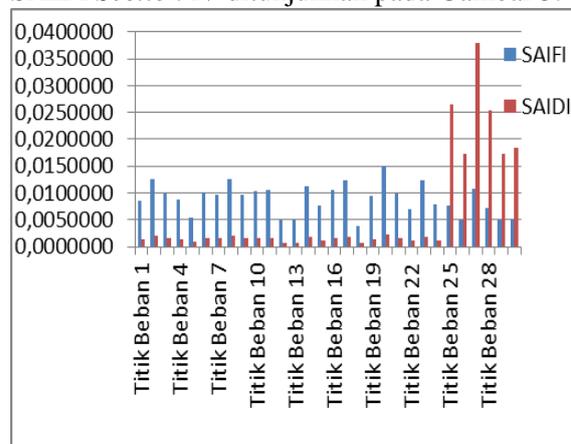
Gambar 3. Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section II

Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section III ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section III

Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section IV ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Analisis Indeks Keandalan SAIFI, dan SAIDI Section IV

Untuk mengetahui hasil analisis indeks keandalan penyulang Lamhotma selanjutnya adalah menjumlahkan indeks keandalan pada setiap *section* yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis Indeks Keandalan Penyulang Lamhotma 01 (LH01)

Section	SAIFI (Kali pelanggan/ tahun)	SAIDI (jam/ tahun)	CAIDI (jam/ Pelangga)
I	0,3219	0,2235	0,6944
II	0,6303	1,0094	1,6014
III	0,4062	0,6443	1,5854
IV	0,2659	0,1774	0,6672
Total	1,3144	1,8311	4,5484

Hal ini menunjukkan bahwa nilai SAIFI terendah sebesar 0,2 kali pelanggan/tahun pada seksi IV dan nilai indeks keandalan SAIFI tertinggi sebesar 0,6 kali pelanggan/tahun pada seksi II. Nilai Indeks Keandalan SAIDI terendah 0,1 kali pelanggan/tahun pada Seksi IV, nilai Indeks Keandalan SAIDI terbesar 1,0 jam/tahun pada Seksi II, dan nilai CAIDI terendah 1,0 jam/tahun pada Seksi IV sebesar 0,6 jam/Pelanggan dan nilai CAIDI tertinggi adalah 1,6 jam/Pelanggan di bagian II. Tingginya nilai Indeks Keandalan Saluran penyulang Lamhotma (LH01) disebabkan oleh banyaknya gangguan atau pemadaman pada saluran penyulang. Penyulang Lamhotma 01 (LH01) merupakan penyulang yang banyak mengalami gangguan. Menurut hasil perhitungan indeks keandalan dengan metode *section technique*. Nilai Indeks Keandalan SAIFI Lamhotma 01 (LH01) adalah 1,3 kali pelanggan/tahun, sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003. Dan sesuai dengan standart SPLN tahun 1985. Penyulang Lamhotma 01 (LH01) memiliki nilai SAIDI sebesar 1,8 jam/tahun, memenuhi standar yang ditetapkan oleh IEEE-1366-2003 dan melebihi standar yang ditetapkan oleh SPLN. Tingginya nilai indeks keandalan ini disebabkan oleh banyaknya gangguan jaringan utama dan pemadaman akibat pekerjaan pemeliharaan dan konstruksi jaringan yang terkait dengan penyulang Lamhotma 01 (LH01), serta faktor lain seperti gangguan dari satwa liar dan lain-lain. Faktor kedua adalah runtuhnya tiang listrik, seperti kerusakan isolator dari waktu ke waktu. Upaya peningkatan indeks

keandalan bertujuan untuk mempermudah pemeliharaan penyulang dengan membuat pemeliharaan jaringan sesingkat mungkin.

Analisis secara Ekonomis

Analisis ENS dapat dicari dengan menggunakan persamaan 10 atau dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$ENS = \Sigma \text{Gangguan(kW)} \times \text{Durasi(Jam)}$$

Untuk melakukan analisis *Energi Not Supplied* (ENS) maka harus diketahui daya aktif pada saat gangguan terlebih dahulu secara matematis dapat dilihat Persamaan 9. Untuk menganalisis besarnya daya aktif pada saat terjadi gangguan pada setiap *section* I menggunakan Persamaan 9.

$$\begin{aligned} \text{Daya aktif} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ \cos\phi &= 0,8 \\ \text{Daya aktif section 1} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \\ \text{Daya aktif section 1} &= \sqrt{3} \times 20\,000 \text{ V} \times \\ &26,352415 \text{ A} \times 0,8 = 730,9 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 9. Hasil Analisis Banyaknya Daya Aktif Section I,II, III, dan IV.

Secti on	Kostanta 3 fasa $\sqrt{3}$	Factor Beban ($\cos\phi$)	Arus yang mengalir (A)	Tengan gan (Volt)	Daya aktif (kW)
I	1,732	0,8	26,35	20000	730,3
II	1,732	0,8	22,73	20000	630,0
III	1,732	0,8	25,67	20000	771,5
IV	1,732	0,8	27,82	20000	771,1

Perhitungan Energi Not Supplied (ENS)

Perhitungan ENS pada section 1 dapat di lakukan dengan menggunakan Persamaan 10.

$$\begin{aligned} ENS &= \Sigma \text{Gangguan(kW)} \times \text{Durasi (jam)} \\ ENS &= 7302,781 \text{ (kW)} \times 6,73875 \text{ (jam)} \\ ENS &= 49211,66 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel 10. Hasil ENS pada Section II, III dan IV penyulang Lamhotma 01 (LH01).

Section	Daya aktif (kW)	Durasi pemadaman (jam)	ENS (kWh)
I	730,27	6,73875	4921,16
II	630,04	15,68584	9882,73
III	711,50	14,24826	10137,67
IV	771,09	10,03736	7739,76
	Total		32681,33

Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai ENS atau energi yang tidak tersalurkan akibat Pemadaman (gangguan) pada penyulang Lamhotma 01

(LH01) adalah sebesar 32681,33kWh. Energi yang tidak dimanfaatkan terbesar terjadi pada *section* III yaitu sebesar 10137,67kWh hal ini diakibatkan *section* III nilai indeks keandalan SAIDI yang cukup besar akibat sering terjadinya pemadaman pada jaringan distribusi. Sedangkan energi yang tidak dimanfaatkan terkecil terjadi pada *section* I sebesar 4921,16kWh hal ini disebabkan pada *section* tersebut gangguan terjadi lebih sedikit dan durasi pemadaman yang lebih singkat.

Perhitungan AENS

Setelah menganalisis ENS atau energi yang tak tersalurkan dari setiap *section* maka selanjutnya adalah menganalisis nilai rata-rata (AENS) energi tak tersalurkan dan untuk menganalisis nilai rata-rata energi tak tersalurkan dapat digunakan dengan Persamaan 11.

$$AENS = \frac{ENS}{\Sigma n} = AENS = \frac{32681,33 \text{ kWh}}{6854 \text{ pelanggan}}$$

$$AENS = 4,7 \text{ kWh/pelanggan}$$

Jadi rata-rata energi tidak tersalurkan penyulang Lamhotma 01(LH01) selama tahun 2021 adalah 4,7 kWh/pelanggan.

Analisis Kerugian Ekonomis

Setelah menganalisis nilai *Energy Not Supplied* (ENS) dan *Average Energy Not Supplied* (AENS), maka selanjutnya menganalisis nilai ekonomis berupa kerugian dari energi yang tidak tersalurkan akibat pemadaman listrik dengan menggunakan rumus. Pada tahap ini, nilai energi tak tersalurkan (ENS) di kalkulasikan dengan tarif dasar listrik yang telah di tetapkan menteri ESDM dan PT.PLN (Persero) pada tahun 2022. Untuk menganalisis dengan menggunakan Persamaan 12. Biaya kerugian penyulang Lamhotma 01 (LH01) pada tahun 2021 adalah sebagai berikut.

$$\text{Kerugian Ekonomis Section 1} = ENS \times \text{Tarif Dasar listrik (TDL)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerugian Ekonomis Section 1} &= 4921,16 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.444,70 \\ &= \text{Rp } 7.109.815,00 \end{aligned}$$

Tabel 9 menunjukkan hasil analisis nilai Kerugian pada *section* II, III dan IV dapat di

lakukan dengan cara yang sama yaitu dengan cara mengalikan antara energi tak tersalurkan (ENS) dengan tarif dasar listrik (TDL) atau dengan Persamaan 12.

Tabel 9. Hasil Analisis Kerugian Ekonomis akibat Energi tak Tersalurkan Penyulang Lamhotma pada Tahun 2021

Section	ENS (kWh)	Tarif Dasar Listrik (Rp)	Kerugian Ekonomi (Rp)
I	4921,16	Rp 1.444,70	Rp 7.109.815,00
II	9882,73	Rp 1.444,70	Rp 14.277.546,00
III	10137,67	Rp 1.444,70	Rp 14.645.844,00
IV	7739,76	Rp 1.444,70	Rp 11.181.701,00
		Total	Rp 40.105.090,00

Jadi total biaya kerugian yang dialami PT.PLN Persero Rayon Belawan akibat terjadinya pemadaman di penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah Rp 40. 105.090.00.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis indeks keandalan dengan menggunakan metode *section technique* nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah 1,6 kali pelanggan/tahun melebihi standar yang ditetapkan oleh IEEE Std 1366-2003 yaitu 1,45 kali pelanggan/tahun, dan memenuhi standar yang di tetapkan SPLN sebesar 3,0 kali pelanggan/tahun. Nilai SAIDI penyulang Lamhotma 01 (LH01) adalah sebesar 2,0 jam/tahun memenuhi standart yang telah di tetapkan IEEE std 1366-2003 yaitu 2.30 jam/tahun, dan juga memenuhi standar SPLN, dan nilai CAIDI penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,6 jam/pelanggan melebihi standar yang di tetapkan IEEE-1366-2003 yaitu 1,47 Jam/pelanggan, dan juga melebihi standar yang di tetapkan SPLN
2. Berdasarkan hasil analisis secara teknis dan ekonomis total energi yang tak tersalurkan (ENS) akibat pemadaman di penyulang Lamhotma (LH01) adalah 32681,33 kWh dan rata-rata energi tak tersalurkan (AENS) selama satu tahun penyulang Lamhotma (LH01) adalah 4,7 kWh/pelanggan sedangkan kerugian ekonomis selama satu tahun PT.PLN (Persero) Rayon Belawan

akibat terjadinya pemadaman penyulang Lamhotma 01 (LH01) selama tahun 2021 adalah Rp 40.105.090,00.

DAFTAR RUJUKAN

- B. Pada, R. Bidang, & D. Metode. (2016). *Method of Sections*.
- Brown, R. E. (2017). *Electric power distribution reliability*. CRC press.
- Dasman, D., & Handayani, H. (2017). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(2), 170–179.
- Energi, D. pertambangan dan. (1985). *SPLN 59 : 1985 Keandalan Sistem Distribusi*.
- J. K. Koster, L. H. Cohn, R. B. B. Mee, & J. J. Collins. (1978). *Reliability Evaluation of Power Systems*. 26(5).
- Kobayashi, Y. (2016). Distributed Power Generation. In *Hydrogen Energy Engineering* (pp. 483–496). Springer.
- Praditama, F., Utomo, T., & Shidiq, M. (2014). ANALISIS KEANDALAN DAN NILAI EKONOMIS DI PENYULANG PUJON PT. PLN (PERSERO) AREA MALANG. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2(6).
- Pramono, J. (2010). Makalah Teknik Tenaga Listrik, Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik). *Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok*. Diambil Dari [Http://Staff. Ui. Ac. Id/System/Files/Users/Chairul.Hudaya/Material/Papertransmissionofelectricalenergy. Pdf](http://Staff.Ui.Ac.Id/System/Files/Users/Chairul.Hudaya/Material/Papertransmissionofelectricalenergy.Pdf).
- Pratama, N. E. (2019). ANALISA GANGGUAN SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH (SUTM) 20 KV PENYULANG RAYA 14 DI PT. PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1).
- Putra, D. E., & Nurhadiyanto, M. (2019). Analisis Keandalan Penyulang Pajajaran 20kv Menggunakan Metode Section Technique untuk Asian Games XVIII di Palembang. *Jurnal Ampere*, 4(1), 222–240.
- R. Syahputra. (2016). Sistem Tenaga Listrik. *ELTEK*, 11(01), 1–293.
- Standard, I. E. E. (2003). *STD 1366-2003, IEEE Draft Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. IEEE.
- Stevenson, W. D., & William, D. (1993). Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. *Erlangga, Jakarta*.
- VOLY, H. (2020). *ANALISIS NILAI KEANDALAN DAN NILAI EKONOMI SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PADA PT. PLN (PERSERO) RAYON DURI MENGGUNAKAN METODE FMEA (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS) (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU)*.