

Simulasi ETAP 12.6 untuk Studi Instalasi Listrik pada Kereta Api Kahuripan

FARIZ GHILYATS IRFAN, NASRUN HARIYANTO

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: farizghilyatsirfan@gmail.com

Received 13 April 2021 | Revised 19 Mei 2021 | Accepted 29 Juni 2021

ABSTRAK

Dalam sebuah satu rangkaian kereta biasanya terdiri dari penggerak utama lokomotif, kereta penumpang, kereta makan, dan kereta pembangkit. Dengan banyaknya fasilitas dan alat-alat kelistrikan dalam gerbong-gerbong tersebut dapat memberikan dampak penurunan terhadap kualitas daya listrik yang mengalir pada sistem distribusi aliran daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas nilai circuit breaker, ukuran penampang kabel, tegangan jatuh, dan rugi-rugi daya, serta perbandingannya dengan hasil simulasi pada software ETAP 12.6. Kapasitas circuit breaker dan ukuran penampang kabel yang diperhitungkan mendapatkan rating circuit breaker dengan arus berkisar dari 800 hingga 80 Ampere dan ukuran kabel yang digunakan sebesar 120 mm². Hasil nilai drop voltage yang didapat dimulai dari 1,02 Volt hingga 5,08 Volt. Untuk nilai rugi-rugi daya yang didapat dimulai dari 0,01 kW hingga 0,11 kW.

Kata kunci: Aliran Beban, ETAP, Circuit Breaker, Drop Voltage, Rugi-rugi Daya.

ABSTRACT

A train usually consists of several carriages: a prime mover locomotive, passenger carriage, dining carriage, and generator carriage. With that many facilities and installed electrical equipments the quality of the electric power flowing in the trains's power distribution system may be decreased. This study aims to determine the capacity of the circuit breaker, the cable's cross section size, the voltage drop, and power losses, as well as the comparison with the simulation results by using ETAP software. The circuit breaker capacity and cable's cross-sectional size are calculated. From the calculations, we obtain the rating value for the circuit breaker, which is ranging from 800 to 80 Ampere. As for the cable's cross sectional we obtain 120 mm². With these values, the resulting voltage drop is from 1.02 Volts to 5.08 Volts. As for the resulting power loss, its value is ranging from 0.01 kW to 0.11 kW.

Keywords: Load Flow, ETAP, Circuit Breaker, Voltage Drop, Power Loss.

1. PENDAHULUAN

Dimulainya industri perkerataapian di Indonesia diawali pada jalur kereta api Solo-Yogyakarta oleh Gubernur Jendral Hindia Belanda. Setelah Indonesia merdeka pada 17 Agustus 1945 beberapa hari kemudian dilakukanlah pengambilalihan stasiun dan kantor pusat kereta api yang sebelumnya diduduki Jepang. Puncak pengambilalihan kantor pusat terjadi di Bandung pada tanggal 28 September 1945 yang menandakan awal berdirinya perkeretaapian di Indonesia **(KAI, 2017)**.

Dalam sebuah satu rangkaian kereta biasanya terdiri dari penggerak utama lokomotif, kereta penumpang, kereta makan, kereta pembangkit dan kereta makan pembangkit (kereta makan yang disatukan dengan kereta pembangkit) **(Hartono, 2012)**. Bahkan untuk beberapa kereta biasanya ditambah dengan kereta barang yang berfungsi untuk menempatkan barang-barang yang ukurannya khusus ditempatkan di area yang lebih besar. Untuk kereta penumpang, makan, dan pembangkit memiliki fasilitas seperti lampu TL, pendingin AC, stopkontak, kamar mandi, TV, pengukur suhu ruangan, speaker, generator set, dan ruangan khusus seperti ruangan panel dan lain lain yang ditujukan untuk menunjang guna meningkatkan kenyamanan yang dirasakan petugas, pegawai, teknisi dan yang utama para penumpang.

Semakin banyak fasilitas pada kereta penumpang, dapat menimbulkan permasalahan kualitas daya listrik dan berdampak pada umur pakai peralatan. Kondisi ini harus dicegah dengan memiliki kualitas teknisi yang berkompeten di bidangnya dan sistem pemeliharaan atau perawatan kereta gerbong yang terjadwal dengan baik **(Arfianto, Sukmadi, & Winardi, 2013)**.

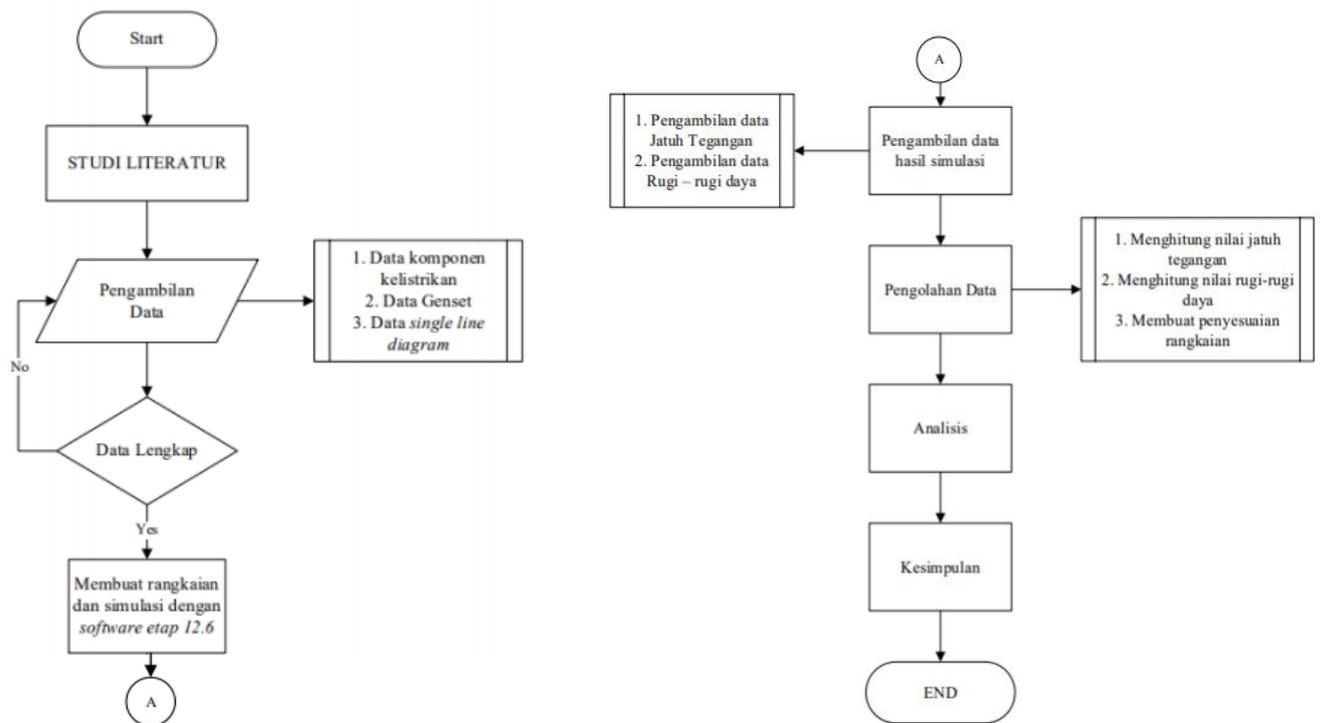
Analisis aliran daya adalah analisis yang bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik, apakah masih dalam kondisi aman atau sudah harus diganti. Sehingga dalam tema ini perlu persiapan sistem yang terukur untuk pemakaian jangka panjang **(T & Muksim, 2018)**. ETAP (*Electrical Transient Analisis Program*) adalah software yang dapat digunakan untuk untuk menghitung aliran daya pada sistem tenaga listrik **(Nigara & Primadiyono, 2015) (Kurniawan, Hani, & Kristyana, 2019)**.

Pada penelitian ini *software* ETAP 12.6 berfungsi sebagai perangkat yang berguna untuk melakukan simulasi terhadap jenis-jenis bagian dari aliran daya dimana nantinya nilai tersebut akan menjadi acuan untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan matematis sehingga mendapatkan kesimpulan kondisi kualitas aliran daya yang terjadi pada kereta api Kahuripan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Diagram Alir

Penulis mengerjakan penelitian ini dengan langkah-langkah pemecahan masalah yang ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

2.2. Perhitungan Kapasitas Circuit Breaker dan Ukuran Penampang Kabel

Untuk melakukan perhitungan pada arus kabel digunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_n = \frac{P}{V_{LL} \times \sqrt{3} \times \cos\phi} \quad (1)$$

Keterangan:

I_n = Arus nominal (Ampere)

P = Daya (Watt)

V_{LL} = Tegangan Fasa-fasa (Volt)

$\cos \phi$ = 0,8

$$I_{beban} = I_n \times 125\% \quad (2)$$

Keterangan:

I_n = Arus Nominal (Ampere)

125% = Minimal arus pengenalan beban penuh (**PUIL, 2000**).

2.3. Perhitungan Tegangan Jatuh pada Saluran Penghantar

Untuk melakukan perhitungan tegangan jatuh, pertama perlu diketahui nilai arus beban dengan persamaan sebagai berikut (**Chapman, 1991**):

$$I_n = \frac{P}{V_{LL} \times \sqrt{3} \times \cos\phi} \quad (3)$$

Keterangan:

I_n = Arus nominal (Ampere)

P = Daya (Watt)

V_{LL} = Tegangan Fasa-fasa (Volt)

$\cos \phi$ = 0,8

2.4. Perhitungan rugi-rugi daya

Nilai panjang kabel (dalam meter) dari awal *junction box* ke *junction box* selanjutnya memerlukan data panjang distribusi. Disamping itu perlu diketahui luas penampang (A) dalam

mm²) serta jenis kabel yang dipasang untuk menentukan besar nilai massa jenis konduktor (ρ). Saluran distribusi kereta ini menggunakan menggunakan tipe konduktor tembaga dengan nilai massa jenis konduktor (ρ) = 0,017241 Ω mm² / m. Dari hasil sampel titik G ke titik 1 dengan panjang saluran 24 m, maka dapat dihitung besarnya nilai resistansi pada kabel dengan Persamaan (4).

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

R = Resistansi(ohm)
 ρ = Masa jenis konduktor(ρ)
 l = Panjang(m)
 A = Luas penampang(m²)

Rugi daya merupakan daya yang hilang akibat jatuh tegangan yang terletak di saluran distribusi. Nilai rugi daya dihasilkan menggunakan nilai resistansi (R dalam Ω /ohm) pada setiap saluran kabel yang sebelumnya telah dihitung, selanjutnya dikalikan dengan nilai arus (I dalam ampere) sesuai terhadap saluran kabel yang ada. Perhitungan rugi daya pada saluran kabel menggunakan Persamaan (5)

$$P = I^2 \times R \quad (5)$$

Keterangan:

P = Daya(Watt)
 I = Arus(Ampere)
 R = Resistansi (Ω)

Untuk melakukan perhitungan rugi-rugi daya, maka didapatkan dengan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{Losses} = i^2 \times R \quad (6)$$

Keterangan:

i = Arus pada beban (A)
 R = Resistansi (Ω)

2.5. Perhitungan Arus Short Circuit

Untuk melakukan perhitungan arus *short circuit*, maka didapatkan dengan dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{SC} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \times Z_{Genset} + Z_{total}} \quad (7)$$

Keterangan:

V_{LL} = Tegangan fasa-fasa (Volt)
 Z_{genset} = impedansi pada generator set (Ω)
 Z_{total} = impedansi penjumlahan pada setiap saluran kabel (Ω)

2.6. Skenario Simulasi

Simulasi menggunakan *software* ETAP ini dilakukan sebagai tolak ukur untuk membandingkan data riil di lapangan dengan data perhitungan (**Tri, 2014**). Penulis menggunakan data yang di ambil saat pengambilan data di Depo Kereta Bandung. Data beban tersebut dikelompokan menjadi 3 jenis pembebanan yaitu beban *emergency*, beban *intermittent* dan beban motor. Dalam pembuatan rangkaian di *software* ETAP, setiap gerbong berisikan masing-masing 3 jenis pembebanan yang sudah diberikan nilai jumlah total daya sesuai dengan jenisnya. Setelah rangkaian selesai diterapkan pada *software*, maka dilakukanlah simulasi *Load Flow Analysis* yang hasilnya akan menunjukkan kondisi dari *bus*, *circuit breaker*, *cable*, *drop voltage*, dan *losses* apakah masuk kedalam kategori kondisi *critical* atau *marginal*. Sementara fitur *branch losses summary report* digunakan untuk menampilkan nilai tegangan jatuh dan rugi-rugi daya yang lebih detail akan nilai kenaikan

atau penurunan tegangan maupun daya disetiap gerbong yang nantinya nilai tersebut akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual.

3. DATA DAN ANALISIS

3.1 Data Beban Listrik pada Kereta

Data yang dibutuhkan untuk simulasi diambil saat proses pengambilan data di Depo Kereta Bandung, data beban kelistrikan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Beban Listrik pada Kereta K1

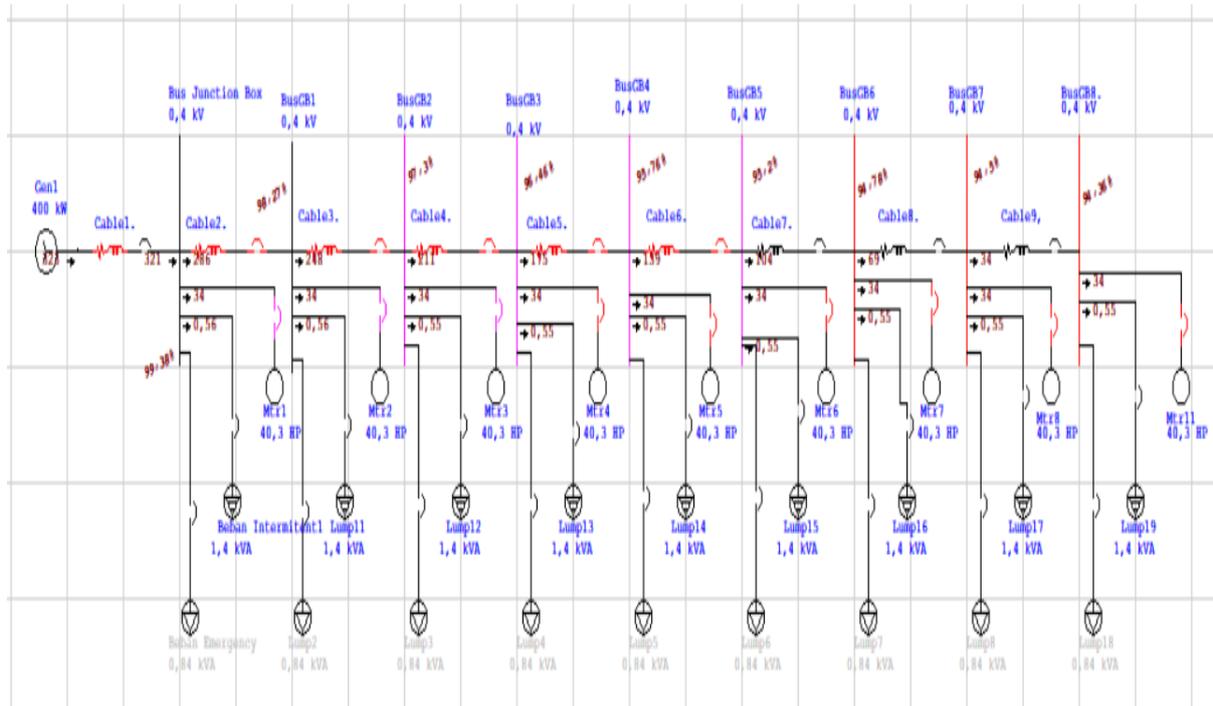
No	Vol	Sat	Uraian	Spesifikasi	Beban	Jumlah	
A							
RUANG PENUMPANG							
1	20	buah	Lampu saloon	Lampu fluoreset 36W, 220 V AC, 50 Hz *	80	1600	
2	50	buah	Lampu baca	Lampu pijar 10W, 24 V AC, 50 Hz	10	500	
3	2	unit	Lampu emergency	2x10W /unit, terletak diujung ruang saloon	50	100	
4	2	unit	Lampu informasi	5W, 220 V AC	5	10	
5	2	unit	TV LCD/LED	32 inchi, 220 V AC, 80W, 50 Hz	80	160	
6	1	set	Stop kontak	MCB 10 A*	3,085	3,085	
B							
KAMAR KECIL							
7	2	buah	Lampu	2 X 1 Lampu fluoreset 20W, 220 V AC, 50 Hz	70	140	
8	2	buah	Exhaust fan	2 X 1 Kipas 70W, 220 V AC, FV-40 AVU	70	140	
C							
RUANG GANGWAY							
9	2	buah	Lampu	2 X 1 Lampu fluoreset 20W, 220 V AC, 50 Hz	70	140	
D							
PERALATAN LAIN							
10	2	unit	AC	380 V AC, 50 Hz, 3 Phasa*	12,461	24,922	
11	1	set	Speaker	Dengan penguat	500	500	
TOTAL BEBAN							31,297

Dari daftar beban pada Tabel 1, akan dikelompokkan ke dalam 3 jenis beban yang nantinya akan digunakan untuk merangkai rangkaian di *software* lalu dijalankannya simulasi *Load Flow Analysis*.

3.2 Rangkaian dan Hasil Simulasi *Load Flow Analysis*

Rangkaian Gerbong Kereta Kahuripan pada ETAP 12.6 setelah disimulasikan *Load Flow Analysis* ditunjukkan pada Gambar 2.

Simulasi ETAP 12.6 untuk Studi Instalasi Listrik pada Kereta Api Kahuripan



Gambar 2. Rangkaian Gerbong Kereta Kahuripan pada ETAP 12.6 Setelah disimulasikan Load Flow Analysis

Gambar 2 menampilkan kondisi rangkaian yang telah di-running simulasi *Load Flow Analysis* dimana nantinya akan keluar nilai-nilai kondisi tegangan saluran, arus saluran, kondisi kemampuan kabel dalam menerima arus yang mengalir (**Wahyudianto, Sarwito, & Kurniawan, 2016**) (**Pradnya, Arjana, & Wijaya, 2017**), dan kemampuan kondisi komponen apakah mampu atau tidak dalam menerima kondisi aliran daya yang tengah mengalir. Setelah dilakukan simulasi maka dapat dilihat kondisi komponen saat *fitur alert view* diaktifkan, kondisi tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating	Phase Type
BusGB6	Bus	Under Voltage	0.4 kV	0.379	94.8	3-Phase
BusGB7	Bus	Under Voltage	0.4 kV	0.378	94.5	3-Phase
BusGB8	Bus	Under Voltage	0.4 kV	0.377	94.4	3-Phase
Cable1.	Cable	Overload	433.366 Amp	579.688	133.8	3-Phase
Cable2.	Cable	Overload	216.683 Amp	517.331	238.8	3-Phase
Cable3.	Cable	Overload	216.683 Amp	454.275	209.6	3-Phase
Cable4.	Cable	Overload	216.683 Amp	390.591	180.3	3-Phase
Cable5.	Cable	Overload	216.683 Amp	326.358	150.6	3-Phase
Cable6.	Cable	Overload	216.683 Amp	261.659	120.8	3-Phase
CB1	LV CB	Overload	250 Amp	517.331	206.9	3-Phase
CB16	LV CB	Overload	63 Amp	63.201	100.3	3-Phase
CB18	LV CB	Overload	63 Amp	63.662	101.1	3-Phase
CB2	LV CB	Overload	250 Amp	454.275	181.7	3-Phase
CB20	LV CB	Overload	63 Amp	64.037	101.6	3-Phase
CB22	LV CB	Overload	63 Amp	64.322	102.1	3-Phase
CB24	LV CB	Overload	63 Amp	64.513	102.4	3-Phase
CB3	LV CB	Overload	250 Amp	390.591	156.2	3-Phase
CB4	LV CB	Overload	250 Amp	326.358	130.5	3-Phase
CB40	LV CB	Overload	63 Amp	64.609	102.6	3-Phase
CB5	LV CB	Overload	250 Amp	261.659	104.7	3-Phase
Marginal						
Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Operating	% Operating	Phase Type
BusGB2	Bus	Under Voltage	0.4 kV	0.389	97.3	3-Phase
BusGB3	Bus	Under Voltage	0.4 kV	0.386	96.5	3-Phase

Gambar 3. Kondisi Komponen Setelah Dilakukan Simulasi

Gambar 3 menampilkan kondisi komponen pada rangkaian yaitu *bus* dan *circuit breaker* yang beberapa diantaranya berada dalam kondisi *marginal* yaitu kondisi dimana komponen yang beroperasi sudah mendekati batasnya beroperasinya. Untuk Kondisi tegangan jatuh dan juga rugi-rugi daya setelah rangkaian di-*running* simulasi *Load Flow Analysis. Branch Losses Summary Report* menampilkan asal dan tujuan daya serta tegangan yang mengalir pada rangkaian tersebut dapat dilihat saat fitur *alert view* diaktifkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Tegangan Jatuh dan Rugi-rugi Daya

Branch Losses Summary Report									
CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		%Bus Voltage		Vd % Drop in V mag
	ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	
Cable 1	-0.321	-0.238	0.323	0.239	2.3	1.1	99.4	100	0.62
Cable 2	0.286	0.212	-0.283	-0.21	3.6	1.8	99.4	98.3	1.11
Cable 3	0.248	0.184	-0.246	-0.183	2.8	1.4	98.3	97.3	0.97
Cable 4	0.211	0.157	-0.209	-0.156	2.1	1	97.3	96.5	0.84
Cable 5	0.175	0.13	-0.173	-0.13	1.4	0.7	96.5	95.8	0.7
Cable 6	0.139	0.104	-0.138	-0.103	0.9	0.5	95.8	95.2	0.56
Cable 7	0.104	0.078	-0.103	-0.077	0.5	0.3	95.2	94.8	0.42
Cable 8	0.069	0.052	-0.069	-0.052	0.2	0.1	94.8	94.5	0.28
Cable 9	0.034	0.026	-0.034	-0.026	0.1	0	94.4	94.4	0.14
					13.9	7			

Keterangan :

V_d : Voltage Drop / jatuh tegangan (volt)

$\%V_d$: Persentase jatuh tegangan (%)

kW Losses : Rugi-rugi daya (kW)

Tabel 2 menampilkan kondisi tegangan jatuh dan rugi-rugi daya yang terjadi setelah rangkaian di-*running* simulasi *Load Flow Analysis. Branch Losses Summary Report* menampilkan asal dan tujuan daya serta tegangan yang mengalir pada rangkaian tersebut.

3.3 Perhitungan Kapasitas *Circuit Breaker* dan Ukuran Penampang Kabel

Data hasil perhitungan kapasitas *circuit breaker* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Kapasitas *Circuit Breaker*

Perhitungan Kapasitas <i>Circuit Breaker</i>								
Kabel	Arus Beban					In x 1,25(A)	Breaker Type	Rating Breaker (A)
	Daya (Kw)	VLL (V)	$\sqrt{3}$	Cos Phi	Arus (A)			
Kabel 1	319	400	1,73	0,8	575,55	719,43	MCCB	800
Kabel 2	280	400	1,73	0,8	505,18	631,48	MCCB	800
Kabel 3	244	400	1,73	0,8	440,23	550,29	MCCB	630
Kabel 4	209	400	1,73	0,8	377,08	471,35	MCCB	630
Kabel 5	174	400	1,73	0,8	313,93	392,42	MCCB	400
Kabel 6	139	400	1,73	0,8	250,79	313,48	MCCB	320
Kabel 7	104	400	1,73	0,8	187,64	234,55	MCCB	250
Kabel 8	34	400	1,73	0,8	61,34	76,68	MCCB	80
Kabel 9	34	400	1,73	0,8	61,34	76,68	MCCB	80

Dalam distribusi ada kalanya gangguan arus hubung singkat yang disebabkan oleh banyak hal yang dampaknya terlihat pada penurunan performa distribusi (**Agusutrisno, Prabowo, & Wicaksono, 2020**). Dari Tabel 3 data ditampilkan hasil perhitungan kapasitas *circuit breaker* dimana kabel 1 dan 2 sebesar 800 A, kabel 3 dan 4 sebesar 630 A, kabel 5 sebesar 400 A, kabel 6 sebesar 320 A, kabel 7 sebesar 250 A, kabel 8 dan 9 sebesar 80 A. Ada dua jenis data *sheet* yang digunakan untuk menentukan ukuran panjang penambang diantaranya pada Tabel 4 adalah data *sheet* kabel NYAF jenis *physical properties*.

Tabel 4. Data Sheet Kabel NYAF dari Katalog Sutrado Jenis PHYSICAL PROPERTIES

PHYSICAL PROPERTIES						
Size	No/Dia. Of wire	Insulation Thickness	Approx Cable Weight	Standard Length	Packing	Min Bending Radius
mm ²	pcs/mm	mm	kg/km	m	-	
1.5	30/0.25	0.7	30	50/100	coil	30
2.5	50/0.25	0.8	3.7	50/100	coil	30
4	56/0.30	0.8	4.6	50/100	coil	40
6	84/0.30	0.8	5.4	50/100	coil	50
10	80/0.40	1	7.3	50/100	coil	70
16	126/0.40	1	8.4	1000	drum	80
25	196/0.40	1.1	10.2	1000	drum	100
35	276/0.40	1.2	11.8	1000	drum	110
50	396/0.40	1.4	14.1	500	drum	140
70	360/0.40	1.4	16.1	500	drum	160
95	475/0.50	1.6	18.2	500	drum	180
120	608/0.50	1.6	20	500	drum	200
150	756/0.50	1.8	22.2	500	drum	220
185	925/0.50	20	25	500	drum	250
240	1.221/0.50	22	27.9	500	drum	270

Sedangkan Tabel 5 merupakan data *sheet* kabel NYAF jenis *electrical properties*.

Tabel 5. Data Sheet Kabel NYAF dari Katalog Sutrado Jenis ELECTRICAL PROPERTIES

ELECTRICAL PROPERTIES					
Conductor Resistance at 70C	Insulation Resistance	Current Carrying Capacity at 30		Short circuit Current at 1 sec	AC Voltage
ohm/km	M.ohm.km	in pipe	in air	kA	kV/5min.
		A	A		
13300	0.01	15	24	0.19	25
7980	0.009	20	32	0.32	25
4950	0.007	25	41	0.5	25
3300	0.006	33	53	0.73	25
1910	0.006	45	72	1.2	25
1210	0.005	60	97	1.91	25
780	0.004	82	128	2.96	25
554	0.004	102	156	4.13	25
386	0.004	131	195	5.87	25
272	0.003	164	243	8.19	25
-	-	-	-	-	-

ELECTRICAL PROPERTIES					
Conductor Resistance at 70C	Insulation Resistance	Current Carrying Capacity at 30		Short circuit Current at 1 sec	AC Voltage
ohm/km	M.ohm.km	in Pipe A	in Air A	kA	kV/5min.
206	0.003	205	287	11.09	25
161	0.003	233	342	13.98	25
129	0.003	-	386	17.46	25
106	0.003	-	441	21.5	25
80	0.003	-	552	27.86	25

Data sheet dari kabel NYAF dimana dari data tersebut kita bisa memilih ukuran kabel apa yang akan digunakan berdasarkan kuat hantar arus yang dimiliki dari hasil perhitungan arus nominal yang sudah dikalikan dengan nilai *safety factor* dari PUIL 2000. Data hasil perhitungan kapasitas breaker dan ukuran penampang kabel ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Kapasitas *Breaker* dan Ukuran Penampang Kabel

Perhitungan Jenis Kabel											
Arus Persaluran							Kabel				
Kabel	Daya (Kw)	VLL (V)	$\sqrt{3}$	Cos Phi	Arus (A)	In x 1,25 (A)	A (mm²)	Tarikan	Resistance ohm/m	Reaktansi	Jenis
Kabel 1	319	400	1,73	0,8	575,55	719,43	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 2	280	400	1,73	0,8	505,18	631,48	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 3	244	400	1,73	0,8	440,23	550,29	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 4	209	400	1,73	0,8	377,08	471,35	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 5	174	400	1,73	0,8	313,93	392,42	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 6	139	400	1,73	0,8	250,79	313,48	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 7	104	400	1,73	0,8	187,64	234,55	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 8	34	400	1,73	0,8	61,34	76,68	120	2	0,00016	0,073	NYAF
Kabel 9	34	400	1,73	0,8	61,34	76,68	120	2	0,00016	0,073	NYAF

3.4 Perhitungan Tegangan Jatuh pada Saluran Penghantar

Data hasil perhitungan arus pada setiap beban ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Arus Beban

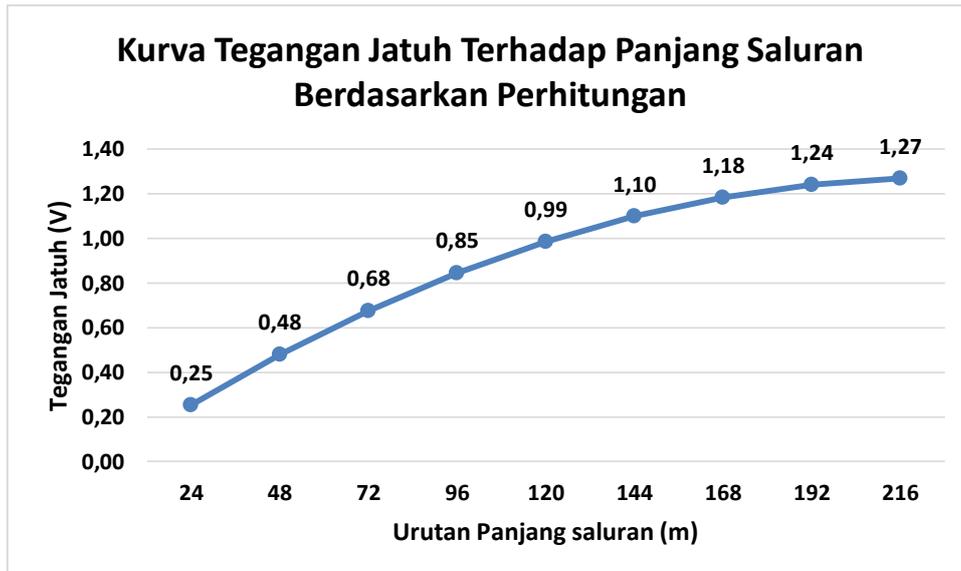
Arus Beban						
Kabel	Arus	Daya		VLL (V)	Cos phi	Arus Beban(A)
		Kontinu (kW)	Intermitent (kW)			
Saluran 1	i1	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 2	i2	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 3	i3	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 4	i4	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 5	i5	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 6	i6	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 7	i7	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 8	i8	30	0,56	400	0,8	55,20
Saluran 9	i9	30	0,56	400	0,8	55,20

Hasil perhitungan arus beban dimana karena semua beban nya sama maka nilai arus untuk arus bebannya pun sama dari kabel 1 hingga kabel 9 yaitu 55,20 A. Untuk melakukan perhitungan tegangan jatuh, maka didapatkan dengan dengan persamaan Deshpande, M. (1984). Data hasil perhitungan tegangan jatuh ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Tegangan Jatuh

Tegangan Jatuh											
Sec-tion	Arus titik	L per section (m)	L (m)	$\sqrt{3}$	(Cos Phi)	(Sin Phi)	R (Ω/m)	X (Ω/m)	ΔV (per-section) (V)	ΔV Total (V)	ΔV Total (%)
iG -i1	496,82	24	24	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	1,02	1,02	0,25
i1 - i2	441,62	24	48	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,90	1,92	0,48
i2 - i3	386,42	24	72	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,79	2,71	0,68
i3 - i4	331,21	24	96	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,68	3,38	0,85
i4 - i5	276,01	24	120	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,56	3,95	0,99
i5 - i6	220,81	24	144	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,45	4,40	1,10
i6 - i7	165,61	24	168	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,34	4,74	1,18
i7 - i8	110,40	24	192	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,23	4,96	1,24
i8 - i9	55,20	24	216	1,73	0,8	0,6	0,0016	0,00073	0,11	5,08	1,27

Pada dasarnya jatuh tegangan ialah selisih dari tegangan ujung pengirim dengan tegangan ujung penerima (Asy'ari, 2011) (Hontong, Tuegeh, & Patras, 2015). Dari perhitungan tegangan jatuh, pada setiap bagian arus titik masing-masing yang dimana hasil dari nilai tegangan jatuh perbagian tersebut akan dijumlahkan secara berurutan sehingga nilai tegangan jatuh yang sesuai bisa didapatkan. Kurva perhitungan tegangan jatuh berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Perhitungan Tegangan Jatuh Berdasarkan Hasil Perhitungan

Gambar 4 menampilkan kurva tegangan jatuh terhadap panjang saluran berdasarkan perhitungan dimana disetiap panjang yang berbeda nilai tegangan jatuh semakin lama semakin naik dari 0,25, 0,48, 0,68, 0,85, hingga terakhir adalah 1,27 Volt.

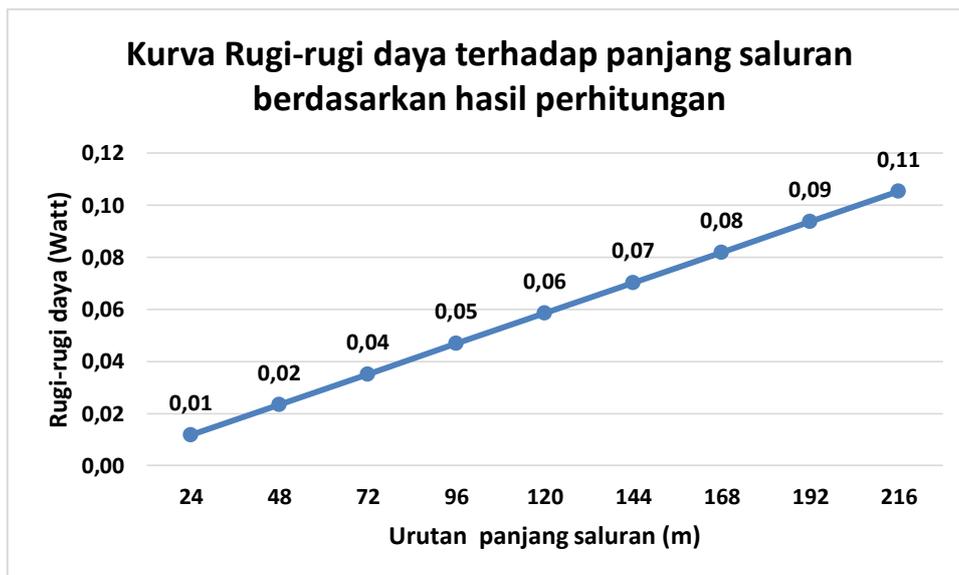
3.5 Perhitungan Rugi-rugi Daya

Berdasarkan Persamaan (4) dan (5) maka didapat nilai resistansi dan rugi-rugi daya yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Perhitungan Rugi-rugi Daya						
Kabel	Amper e (A)	Panj ang (m)	Resista -nce (Ω/m)	Resist-ance (Ω)	Resist-ance Total	Plosses (kW)
Kabel 1	55,20	24	0,00016	0,0038	0,0038	0,01
Kabel 2	55,20	48	0,00016	0,0077	0,0115	0,02
Kabel 3	55,20	72	0,00016	0,0115	0,0230	0,04
Kabel 4	55,20	96	0,00016	0,0154	0,0384	0,05
Kabel 5	55,20	120	0,00016	0,0192	0,0576	0,06
Kabel 6	55,20	144	0,00016	0,0230	0,0806	0,07
Kabel 7	55,20	168	0,00016	0,0269	0,1075	0,08
Kabel 8	55,20	192	0,00016	0,0307	0,1382	0,09
Kabel 9	55,20	216	0,00016	0,0346	0,1728	0,11

Kurva Perhitungan nilai rugi-rugi daya pada saluran kabel ditunjukkan pada Gambar 5 .



Gambar 5. Kurva Rugi-Rugi Daya Berdasarkan Perhitungan

Pada dasarnya rugi-rugi daya ialah daya yang hilang saat dalam proses pendistribusian yang mengakibatkan performa menurun (**Hadisantoso, 2015**). Pada Tabel 8 dan Gambar 5 ditunjukkan hasil dan kurva perhitungan rugi-rugi daya terhadap saluran berdasarkan hasil perhitungan yang semakin lama semakin besar rugi-rugi dayanya diawali dari 0.01, 0.02, 0.04, 0.05 hingga 0.11 watt.

3.6 Analisis

Untuk kabel yang digunakan di simulasi dengan kabel yang digunakan dari riil dilapangan, hasilnya kabel memiliki kemampuan ketahanan yang sesuai. Ditunjukkan dengan hasil dari simulasi *load flow analysis* dimana kabel tidak mengalami kondisi *critical* yang ditunjukkan dengan warna merah pada komponen tersebut. Juga dengan *circuit breaker* memiliki kemampuan yang sama baik dalam etap maupun data dari lapangan. Hanya saja terlihat pada simulasi *circuit breaker* mengalami kondisi *marginal* dimana komponen beroperasi hampir mendekati batas kemampuannya. Jumlah konduktor pada kabel mempengaruhi naik turunnya kondisi tegangan jatuh di pengolahan data yang menggunakan *software* etap 12.6. Karena nilai arus sistem yang mengalir tidak boleh lebih besar dari pada nilai kuat hantar arus yang dimiliki kabel. Semakin jauh kabel, maka nilai arus kabel pun akan semakin kecil juga nilai dayanya pun semakin mengecil karena arus tersebut terbagi-bagi saat melewati kabel-kabel yang membawa beban masing-masingnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi juga perhitungan manual untuk sistem kelistrikan rangkaian kereta api Kahuripan dan analisis secara perbandingan untuk kedua metoda tersebut, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil nilai kapasitas circuit breaker yang didapat untuk: kabel 1 dan 2 sebesar 800 A, kabel 3 dan 4 sebesar 630 A, kabel 5 sebesar 400A, kabel 6 sebesar 320 A, kabel 7 sebesar 250 A, kabel 8 dan 9 sebesar 80 A.
2. Ukuran penampang kabel yang didapat adalah 120mm² dengan jenis NYAF untuk 9 buah kabel yang digunakan.

3. Dari hasil perhitungan nilai tegangan jatuh yang didapat adalah, 0.25 %, 0.48%, 0.68%, 0.85%, 0.99%, 1.10%, 1.18%, 1.24%, 1.27% sesuai dengan urutan kabel dari 1 hingga 9.
4. Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya, didapat nilainya ialah 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.11 dalam satuan kilowatt yang berurutan sesuai dengan kabelnya.
5. Dari data hasil perhitungan dengan simulasi terlihat perbandingan data jatuh tegangan dengan rugi-rugi daya memiliki sedikit perbedaan berkisar dari 0,01 hingga 0,02 % yang masih berada dalam batas toleransi.
6. Pada penelitian ini dapat disimpulkan dimana hasil perbandingan nilai kapasitas circuit breaker, tegangan jatuh dan rugi-rugi daya memiliki hasil yang kemampuannya atau kapasitas nya sama baik dari perhitungan maupun simulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada PT. Kereta Api Indonesia khususnya Depo Kereta Bandung penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah meluangkan waktu dan kesempatan kepada penulis untuk berbagi ilmu dan pengalaman hingga penelitian ini dapat selesai.

DAFTAR RUJUKAN

- Agusutrisno, Prabowo, & Wicaksono. (2020). Studi Penempatan Circuit Breaker Outgoing (CBO) dan Perhitungan Relay pada Penyulang Puma Berdasarkan Pembacaan Arus Maksimal di Gardu Induk PLN New Bintaro. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 61.
- Arfianto, R. M., Sukmadi, T., & Winardi, B. (2013). Analisis Konsumsi Daya Pada Gerbong Kereta Api Penumpang Kelas Eksekutif, Bisnis. dan Ekonomi (Di Depo Gerbong Kereta Api Indonesia). *Transient*, 362-369.
- Asy'ari, H. (2011). Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rekonfigurasi Beban pada Panel Utama Prambanan. *Semantik*, 1-5.
- Chapman, S. J. (1991). *"Electrics Machinery Fundamentals Second Edition"*. New York: McGraw-Hill.
- Hadisantoso, F. S. (2015). Analisa Penurunan Tegangan (Voltage Drop) dan Rugi-rugi (Losses) Penyulang Menggunakan ETAP di Gardu Induk Bandung Selatan . *Elektra*, 42-53.
- Hartono. (2012). *Lokomotif & Kereta Rel Diesel Indonesia 3rd edition*. Depok: Ilalang Sakti Komunikasi.
- Hontong, N. J., Tuegeh, M., & Patras, L. S. (2015). Analisa Rugi - Rugi Daya pada Jaringan Distribusi di PT.PLN Palu. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 67.
- KAI, H. (2017, Februari 17). Sejarah Perkeretaapian Indonesia. *Sejarah Perkeretaapian*, p. 1.

- Kurniawan, R., Hani, S., & Kristyana, S. (2019). Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik di PT. Kirana Megatara Menggunakan Software Electric Transient and Analysis Program (ETAP) 12.6. *Jurnal Elektrikal*, 63.
- Nigara, A. G., & Primadiyono, Y. (2015). Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4.0. *Jurnal Teknik Elektro*, 7-10.
- Pradnya, M. A., Arjana, I. D., & Wijaya, W. A. (2017). Stufi Analisis Dampak Pemasangan Over Load Shedding Terhadap Pembebanan pada Saluran Transmisi 150KV di Bali. *Teknologi Elektro*, 42.
- PUIL, B. S. (2000). Perlengkapan Listrik. In B. S. Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000* (p. 180). Bandung: Standar Nasional Indonesia.
- T, A. B., & Muksim, M. (2018). Simulasi dan Analisis Load Flow Sistem Interkoneksi Kalimantan Timur menggunakan Software ETAP 12.6. *CIASTECH*, 626-633.
- Tri, F. (2014). *Studi Pengaturan Tegangan Pada Sistem Distribusi 20 KV Menggunakan ETAP 7.0*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Wahyudianto, M. F., Sarwito, S., & Kurniawan, A. (2016). Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi. *Jurnal Teknik ITS*, 344.