

# Pengaruh Beban Panas Dan Tekanan Angin Pada Kawat Penghantar Terhadap Tegangan Tarik Dan Andongan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Nagan Raya – Sigli

Reza Fahlevi Siregar<sup>#1</sup>, Ramdhan Halid Siregar<sup>#2</sup>, Mansur Gapy<sup>#3</sup>

<sup>#</sup> Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

<sup>1</sup>rezaf059@gmail.com

<sup>2</sup>ramdhan\_halid@yahoo.com

<sup>3</sup>mansur\_gapi@unsyiah.ac.id

**Abstrak** — Kualitas dan kontinuitas dari sumber energi listrik di sepanjang saluran ( baik itu pada saluran distribusi, subtransmisi ataupun transmisi) tergantung pada unjuk kerja mekanis saluran berupa tegangan tarik dan andongan. Nilai dari tegangan tarik dan andongan harus tetap terjaga dalam batas yang diizinkan demi menghindari gangguan mekanik seperti hubung singkat akibat *swing* antar konduktor maupun pengaruh medan elektromagnetik saluran terhadap lingkungan sekitar. Temperature, Panas saluran dan kondisi cuaca mempengaruhi nilai dari tegangan tarik dan andongan. Persamaan kesetimbangan panas pada kondisi *non-steady-state* yang mengacu pada standar *IEEE no.738* digunakan dalam menghitung panas pada konduktor. Metode *Catenary* dan *Rulling Span* digunakan untuk menghitung nilai tegangan tarik dan andongan pada saluran. Dari hasil penelitian diperoleh andongan sebesar 10,91 m pada beban panas maksimal dan 10,81 m pada beban panas rata – rata yang dipengaruhi oleh penambahan berat konduktor sebesar 2,28 % pada kondisi beban panas maksimal dan 1,68 % pada kondisi beban panas rata – rata. Tekanan angin menambah berat konduktor sebesar 0,846 % pada kecepatan angin maksimal 3,06 m/s sehingga andongan terjadi sebesar 10,81 m. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan unjuk kerja mekanik saluran masih didalam batas SNI 04-6918-2002 dan tidak berpengaruh buruk terhadap saluran dan lingkungan sekitar.

**Kata Kunci** — Beban panas, Tekanan angin, Saluran transmisi, Tegangan Tarik, Andongan, ACSR

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan sektor – sektor industri pemerintahan dan swasta di Indonesia memicu peningkatan kebutuhan energi listrik menurut hasil proyeksi kebutuhan listrik dari tahun 2003 s.d. 2020 yang dilakukan Dinas Perencanaan Sistem PT PLN (Persero) dan Tim Energi BPPT [1]. Penambahan kapasitas saluran transmisi diperlukan seiring dengan perluasan pusat – pusat pembangkit, namun hal tersebut memerlukan biaya yang tinggi. Pengoptimalan saluran

transmisi yang sudah ada merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan.

Saluran transmisi dari Nagan Raya sampai ke Sigli merupakan saluran transmisi di Aceh yang dibangun dengan kapasitas tegangan 275 kV, namun sampai dengan sekarang saluran tersebut masih dioperasikan pada tegangan 150 kV. Untuk kedepannya, saluran akan dioptimalkan pada tegangan 275 kV. Pengoptimalan saluran harus memperhatikan aspek dari unjuk kerja mekanis saluran berupa tegangan tarik dan andongan yang menjadi pertimbangan penting dalam kualitas dan kontinuitas saluran transmisi [2]. Nilai andongan tidak boleh melebihi batas aman dari ruang dan jarak bebas minimum seperti yang di atur pada SNI 04-6918-2002[3]. Andongan saluran meningkat ketika terjadi perpanjangan konduktor yang disebabkan oleh kenaikan temperatur, panas saluran dan juga beban mekanik oleh angin[4].Panas pada konduktor secara konstan berubah sebagai respon terhadap perubahan arus saluran dan cuaca. Panas pada konduktor merupakan proses pemanasan oleh faktor arus saluran dan penyerapan radiasi matahari, pendinginan oleh faktor angin (reaksi konveksi) dan reaksi radiasi[5]. Beban mekanik yang disebabkan oleh angin digambarkan sebagai penjumlahan vektor antara berat konduktor yang bekerja secara vertikal dan tekanan angin yang bekerja secara horizontal[2].

Maka, dalam pengoptimalan saluran transmisi perlu diketahui unjuk kerja mekanis saluran berupa tegangan tarik dan andongan akibat oleh faktor-faktor pengaruh arus saluran, temperatur dan cuaca yang terjadi sebagai pertimbangan kualitas dan kontinuitas pada saluran.

II. DASAR TEORI

A. Umum

Saluran transmisi adalah kawat panjang yang di desain khusus untuk membawa energi listrik dalam jumlah yang besar dari satu pusat ke pusat yang lain sebagai per variasi tingkatan tegangan. Adapun komponen utama dari saluran transmisi itu sendiri adalah:

- Menara transmisi atau tiang transmisi beserta pondasinya,
- Isolator,
- Kawat penghantar (conductor),
- Kawat tanah (ground wire).

B. Beban Panas dan Tekanan Angin

Temperature konduktor pada saluran udara dengan konstan berubah seiring perubahan arus saluran dan kondisi cuaca. Perubahan temperatur konduktor dalam interval waktu ( $\Delta T$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan keseimbangan panas *non-steady-state* menurut standar IEEE no.738 tahun 2012[5].

$$W_r + W_w + mc\Delta T = W_c + W_s \quad (1)$$

Maka , dari persamaan di atas dapat diperoleh jumlah panas pada saluran akibat proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi[5]:

$$mc\Delta T = W_c + W_s - W_r - W_w \quad (2)$$

Dimana,

- $W_c$  = Panas saluran yang diakibatkan arus saluran (W/m)
- $W_s$  = Panas saluran yang diakibatkan radiasi matahari (W/m)
- $W_r$  = Panas saluran yang diakibatkan reaksi radiasi (W/m)
- $W_w$  = Panas saluran yang diakibatkan reaksi konveksi (W/m)

$m$  massa per unit panjang dan  $c$  kalor jenis dinyatakan dengan kapasitas panas konduktor yang diperoleh dengan persamaan [4]:

$$mc = m_a c_a + m_s c_s \quad (3)$$

Dimana,

- $m_a$  = massa per unit panjang aluminium (kg/m)
- $m_s$  = massa per unit panjang baja (kg/m)
- $c_a$  = Kalor jenis aluminium (J/kg °C)
- $c_s$  = Kalor jenis baja (J/kg °C)

1) *Panas oleh faktor arus saluran* : Ukuran panas konduktor saluran tergantung dari besarnya arus dan resistansi pada temperatur konduktor yang berlaku. Besar resistansi saluran akibat perubahan suhu dapat dihitung dengan persamaan berikut[6]:

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha_0 (t_2 - t_1) ) \quad (4)$$

Untuk nilai dari  $\alpha$  untuk berbagai bahan materi pada berbeda temperatur dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini [6].

TABEL I  
KOEFSIEN TAHANAN TEMPERATURE

Material	T <sub>0</sub> °C	Koefisien Temperatur dari Tahanan x 10 <sup>-3</sup>					
		$\alpha_{20}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{50}$	$\alpha_{75}$	$\alpha_{80}$	$\alpha_{100}$
Cu 100 %	234,5	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu 75 %	241,0	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61 %	228,1	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

Dan sebuah metode perkiraan untuk menghitung panas saluran pada konduktor dengan inti baja adalah [4]:

$$W_c = R_{AC} (1 + \alpha (T - 20)) I_{AC}^2 \text{ (W/m)} \quad (5)$$

Dimana,

- $R_{AC}$  = Resistansi AC pada temperatur 20°C (Ω)
- $\alpha$  = koefisien temperatur
- $I_{AC}$  = Arus (A)

2) *Panas oleh faktor radiasi matahari* : Penyerapan panas dari matahari terhadap konduktor sebesar [6]:

$$W_s = \alpha E d c \text{ (W/m)} \quad (6)$$

Dimana,

- $\alpha$  = Koefisien serap matahari
- $E$  = Intensitas radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>)
- $d$  = diameter konduktor (m)

3) *Pendinginan oleh faktor radiasi* : Konduktor transmisi memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Emisivitas dari sebuah bahan merupakan pecahan dari pemancaran energi dan energi sebuah benda hitam yang telah terpancar pada temperatur yang sama. Emisivitas dari konduktor meningkan dengan umur dari konduktor tersebut. kenyataan yang dikaji dalam konduktor ACSR telah menunjukkan konduktor yang baru dipasang dapat memiliki emisivitas 0.23 sedangkan konduktor yang telah lama dapat memiliki emisivitas sebesar 0.95. ketergantungan umur dari emisivitas untuk konduktor ACSR dapat terdeskripsi oleh [4]

$$\varepsilon = 0.23 + \frac{0.7 Y}{1.22 + Y} \quad (7)$$

Dimana  $Y$  adalah umur dari konduktor dalam tahun. Total pendinginan radiasi dapat diuraikan dengan [7]:

$$W_r = 17,9 \varepsilon \left( \left[ \frac{T_c}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_a}{100} \right]^4 \right) dc \text{ (W/m)} \quad (8)$$

Dimana,

- $\varepsilon$  = Emisivitas relatif
- $T_c$  = Temperatur konduktor ( $^{\circ}\text{K}$ )
- $T_a$  = temperatur lingkungan ( $^{\circ}\text{K}$ )

4) *Pendinginan oleh faktor reaksi konveksi* : Sebagai sebuah konduktor penghantar faktor arus dan panas matahari lebih panas daripada udara sekitar dan konduktor tersebut akan memanaskan udara yang dekat pada bagian permukaan. Jika ada angin, udara yang terpanaskan tadi dibawa oleh udara dingin (angin yang baru) menjauh dari permukaan konduktor. Ketika panas meninggalkan konduktor, hal inilah yang dikatakan sebuah proses pendinginan pada konduktor [4]. Ada beberapa persamaan yang dapat digunakan dalam perhitungan kasus ini, untuk mempermudah dalam perhitungan pada analisa kasus ini dalam penelitian yang dilakukan ialah menggunakan persamaan berikut [9]

$$W_w = 18 \sqrt{p V_m d c} \Delta t \text{ (W/m)} \quad (9)$$

Dimana,

- $p$  = Tekanan udara (atmosfir)
- $V_m$  = Kecepatan angin (m/s)
- $\Delta t$  = Kenaikan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

5) *Pengaruh tekanan angin* : Berat spesifik dari kawat juga dipengaruhi tekanan yang ditimbulkan oleh angin. Dimana tekanan angin terhadap konduktor dianggap bekerja secara horizontal dan berat dari konduktor itu sendiri bekerja secara vertikal. Dikarenakan tekanan angin yang tidak merata maka digunakan suatu koefisien ketidak samaan;  $d$  ( di Indonesia di ambil  $d = 0.75$  ) maka tekanan angin dirumuskan sebagai berikut [6]:

$$P = fpdF \quad (10)$$

Dengan,

- $P$  = Tekanan Angin (kg)
- $f$  = Faktor bentuk
- $p$  =  $v^2/16$  = Tekanan angin spesifik (Kg/mm<sup>2</sup>)
- $v$  = kecepatan angin (m/s)
- $F$  = Luas permukaan kawat (m<sup>2</sup>)

Besarnya faktor  $f$  bergantung pada diameter kawat. Nilai faktor bentuk  $f$  ini dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini:

TABEL II  
FAKTOR BENTUK

Diameter Kawat (mm)	Faktor Bentuk (f)
Sampai 12 mm	1.2
12 – 16 mm	1.1
Diatas 16 mm	1.0

Resultan dari keduanya merupakan berat total spesifik dari kawat konduktor tersebut:

$$W_{tot} = \sqrt{W^2 + P^2} \quad (11)$$

### C. Tegangan Tarik dan Andongan

Analisis tegangan tarik dan andongan adalah sebuah pertimbangan penting dalam desain saluran udara transmisi. Nilai tegangan tarik dan andongan akan menunjukkan kualitas kerja mekanik saluran. Dengan menggunakan metode *catanery* dengan pendekatan parabola maka perhitungan tegangan tarik dan andongan diperoleh sebagai berikut [5]:

$$T_L = T \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{W \cdot L}{T} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Dimana,

- $T_L$  = Tegangan tarik pada rentangan L (kg)
- $T$  = Tegangan tarik kawat (kg)
- $W$  = Berat kawat konduktor (kg/m)
- $L$  = Panjang span (m)

$$d = \frac{wL^2}{8T_L} \quad (13)$$

Dimana,

- $d$  = Andongan (m)

Metode *rulling span* dalam menentukanspan ekivalen saluran, sebagai berikut[4]:

$$L_e = L_{avg} + \frac{2}{3} (L_{max} - L_{avg}) \quad (14)$$

Dimana,

- $L_{avg}$  = Rentangan rata-rata dalam saluran (m)
- $L_{max}$  = Rentangan maksimum dalam saluran (m)

Perubahan panjang kawat pada span yang dapat dihitung menggunakan persamaan :

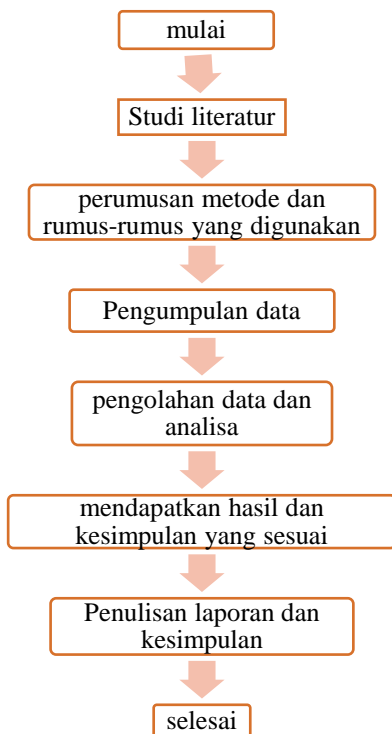
$$l = L_e \left( 1 + \frac{8d^2}{3L_e^2} \right) \tag{15}$$

Dimana,

$L_e$  = Span Ekuivalen (m)  
 $d$  = Andongan (m)

### III. METODE PENELITIAN

Tahap-tahap dalam melakukan proses pengerjaan penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut.



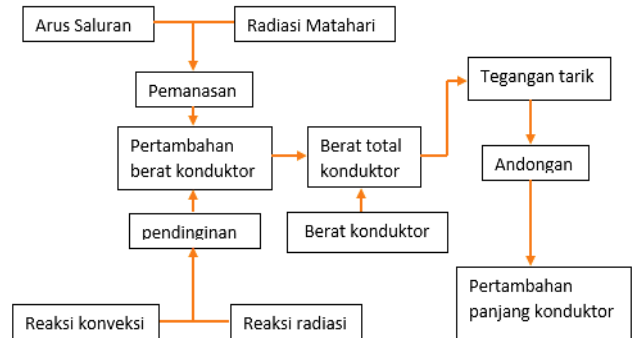
Gambar 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

#### A. Data Penelitian

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data spesifikasi konduktor, data cuaca perjamnya (suhu, kecepatan angin dan radiasi matahari), data jarak tower transmisi, data besar arus saluran yang mengalir perjamnya pada fasa R,S dan T yang diperoleh dari instansi – instansi terkait.

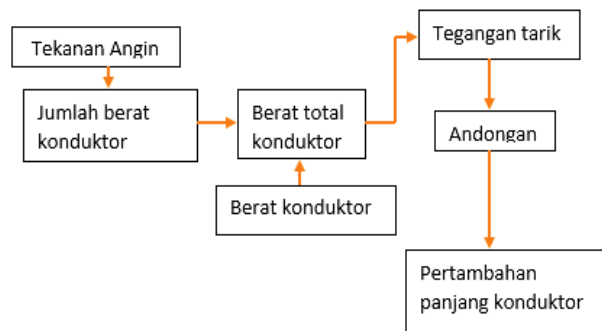
#### B. Perencanaan penelitian

Pengaruh beban panas pada saluran (Line Temperatur) ditunjukkan seperti gambar dibawah:



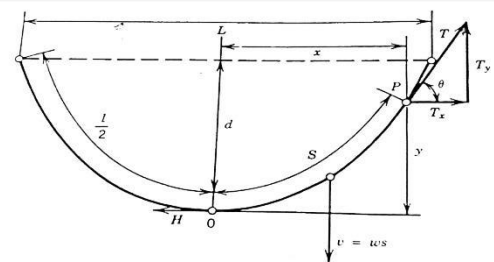
Gambar 2 Alur penelitian pengaruh beban panas

Pengaruh tekanan angin pada saluran ditunjukkan pada gambar dibawah:



Gambar 3 Alur penelitian pengaruh tekana angin

#### C. Metode Catenary



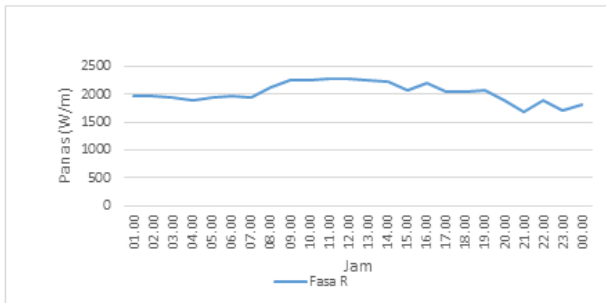
Gambar 4 Andongan dan tegangan tarik sesuai Catenary

Tegangan tarik (T) dan andongan (d) digambarkan oleh gambar 4 menurut metode catenary dengan formula yang di jelaskan sebelumnya.

**D. Panas Konduktor Saluran**

Jumlah panas pada konduktor saluran mengacu pada kesetimbangan panas *non-steady-state* menurut IEEE 738, yaitu:

1) *Panas akibat arus saluran* : Diperoleh jumlah panas yang dihasilkan seperti gambar 5.



Gambar 5 Panas akibat perubahan arus saluran per jam nya

Panas saluran setiap jamnya berubah – ubah seiring perubahan arus saluran pada konduktor. Semakin besar arus yang mengalir pada saluran menyebabkan panas yang dihasilkan akan besar pula.

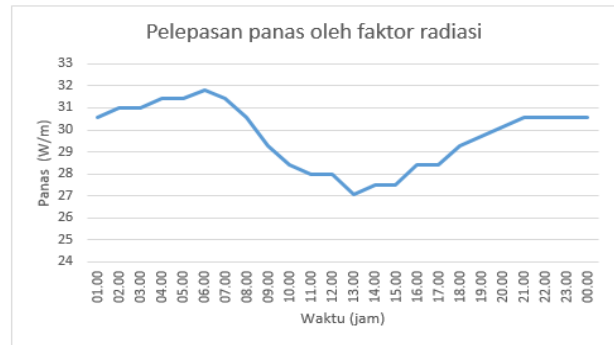
2) *Panas akibat radiasi matahari* : Radiasi matahari diperoleh mulai dari pukul 07.00 hingga pukul 18.00, tergantung dari kapan matahari mulai terbit dan tenggelam.



Gambar 6 Panas saluran oleh faktor radiasi matahari

Puncak dari panas matahari terlihat mulai pukul 11.00 hingga pukul 15.00. Pada kondisi tersebut besar panas yang dihasilkan pun lebih besar dari pada jam-jam yang lainnya.

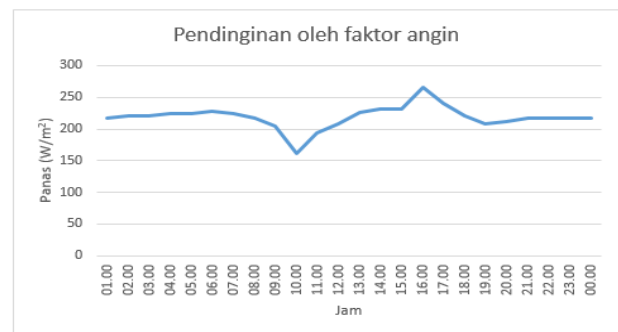
3) *Pelepasan panas oleh reaksi radiasi* : Pelepasan panas konduktor oleh faktor radiasi tergantung oleh kondisi panas sekitar konduktor tersebut. Penyebaran atau pemancaran panas akan semakin optimal jika kondisi sekitar lebih dingin.



Gambar 7 Pelepasan panas oleh faktor radiasi

Hal inilah yang menunjukkan kondisi besar pelepasan panas setiap jam nya berubah – ubah dikarenakan pada kondisi siang hari, panas sekitar konduktor lebih panas dari waktu yang lainnya, dan menyebabkan pelepasan panas pada waktu tersebut lebih rendah dari jam-jam yang lain.

4) *Pendinginan panas oleh reaksi konveksi* : Pada dasarnya angin mengalir pada tekanan tinggi ke rendah. pada saat suhu dilaut lebih dingin dari pada di darat, menyebabkan tekanan di laut lebih tinggi dari pada di darat. Hal ini menyebabkan pada siang hari angin mengalir dari laut ke darat yang menyebabkan kecepatan angin pada siang hari lebih besar dari pada waktu yang lainnya.



Gambar 8 Perpindahan panas oleh faktor konveksi

Nilai kecepatan angin pada pukul 11.00 hingga pukul 16.00 lebih besar dari pada waktu yang lainnya yang menyebabkan pelepasan panas oleh reaksi konveksi lebih besar, karena reaksi konveksi sendiri ialah pendinginan yang terjadi dikarenakan kondisi panas udara sekitar akibat faktor radiasi di dinginkan oleh angin baru yang mengalir.

**E. Tekana Angin**

Besar tekanan angin berubah – ubah setiap jamnya akibat pengaruh oleh perubahan kecepatan angin yang terjadi setiap jamnya.



Gambar 9 Tekanan angin

Dari grafik dapat dilihat tekanan angin terbesar terjadi pada pukul 16.00 WIB dengan kondisi kecepatan angin terbesar ialah sebesar 3,06 m/s.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Besar Tegangan Tarik, Andongan dan Panjang Saluran oleh Faktor Beban Panas Saluran

Pemanasan dan pendinginan konduktor yang terjadi pada kondisi pukul 01.00 sebagai berikut:

$$W_c = 1962,344 \text{ W/m}$$

$$W_s = 0 \text{ W/m}$$

$$W_r = 30,57 \text{ W/m}$$

$$W_w = 216,46 \text{ W/m}$$

Maka jumlah panas pada konduktor saluran sebesar :

$$mc\Delta T = W_c + W_s - W_r - W_w$$

$$mc\Delta T = (1962,344 + 0 - 30,57 - 216,46) \text{ W/m}$$

$$= 1715,31 \text{ W/m}$$

Pertambahan berat yang dihasilkan akibat jumlah panas konduktor saluran pada kondisi pukul 01.00 sebagai berikut:

Dimana,

$$c_a = 900 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$c_s = 450 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_c = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_a = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maka,

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c + W_s - W_r - W_w$$

$$m (900+450) \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \cdot (80-25) \text{ } ^\circ\text{C/s} = 1715,31 \text{ W/m}$$

$$m (1350 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}) \cdot 55 \text{ } ^\circ\text{C/s} = 1715,31 \text{ W/m}$$

$$m (74250 \text{ J/kg/s}) = 1715,31 \text{ J/s/m}$$

$$m = \frac{1715,31 \text{ J/ms}}{74250 \text{ J/kg/s}} = 0,0231 \text{ kg/m} = 23,1 \text{ kg/km}$$

Pertambahan berat yang terjadi pada pukul 01.00 akibat panas saluran sebesar 1715,31 W/m adalah sebesar 23,1 kg/km dan dengan demikian jumlah berat total konduktor menjadi :

$$W_{tot} = 1640 \text{ kg/km} + 23,1 \text{ kg/km}$$

$$= 1663,1 \text{ kg/km} = 1,6631 \text{ kg/m}$$

Besar tegangan tarik yang dipengaruhi oleh perubahan berat konduktor diperoleh sebagai berikut:

$$T_L = T \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{W_{tot} \cdot L_e}{T} \right)^2 \right]$$

$$= 3400 \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{1,6631 \cdot 421,7}{3400} \right)^2 \right]$$

$$= 3400 \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{1,6631 \cdot 421,7}{3400} \right)^2 \right] = 3418,08 \text{ Kg}$$

Besar andongan akibat oleh perubahan berat konduktor diperoleh sebagai berikut:

$$d = \frac{W_{tot} L_e^2}{8 T_L}$$

$$d = \frac{(1,6631)(421,7)^2}{8(3418,08)}$$

$$d = 10,816 \text{ m}$$

kenaikan dan penurunan nilai andongan mempengaruhi panjang kawat pada *span* saluran yang dihitung menggunakan persamaan:

$$l = L \left( 1 + \frac{8d^2}{3L^3} \right)$$

Dikarenakan dalam penelitian menggunakan panjang ekuivalen maka persamaan menjadi;

$$l = L_e \left( 1 + \frac{8d^2}{3L_e^3} \right)$$

$$= 421,7 \left( 1 + \frac{8 \cdot 10,816^2}{3 \cdot 421,7^3} \right)$$

$$= 422,4397 \text{ m}$$

Maka panjang kawat pada pukul 01.00 pada fasa R akibat besar andongan senilai 10,816 meter adalah 422,4397 m. Untuk konstruksi tiang saluran setinggi 45 m dengan jarak clearance pada SUTET 275 kV sebesar 18 m maka besar andongan konduktor maksimal senilai 27 m. Perubahan besar tegangan tarik dan andongan ditunjukkan pada tabel berikut:

TABEL III  
BESAR TEGANGAN TARIK DAN ANDONGAN SETIAP FASA

Pukul	Tegangan Tarik (Kg)	Andongan (m)
01.00	3418,08	10,82
02.00	3418,07	10,81
03.00	3418,06	10,81
04.00	3418,04	10,80
05.00	3418,05	10,81
06.00	3418,05	10,81
07.00	3418,05	10,81
08.00	3418,13	10,83
09.00	3418,20	10,85
10.00	3418,24	10,86
11.00	3418,25	10,87
12.00	3418,25	10,87
13.00	3418,26	10,87
14.00	3418,24	10,86
15.00	3418,19	10,85
16.00	3418,19	10,85
17.00	3418,15	10,84
18.00	3418,13	10,83
19.00	3418,13	10,83
20.00	3418,06	10,81
21.00	3418	10,79
22.00	3418,06	10,81
23.00	3418,01	10,79
00.00	3418,03	10,80

dari hasil penelitian, andongan yang terjadi akibat pengaruh jumlah panas yang membebani saluran tidak berdampak buruk terhadap unjuk kerja mekanik, dan saluran masih dalam standart aman bagi lingkungan sekitar

*B. Besar Tegangan Tarik, Andongan dan Panjang Saluran oleh Faktor Tekanan Angin*

Tekanan angin yang terjadi pada pukul 01.00 dengan kecepatan angin sebesar 1,6 m/s adalah 0,06 kg maka untuk menentukan berat total konduktor saluran akibat pengaruh tekanan angin dapat menggunakan persamaan:

$$W_{tot} = \sqrt{P^2 + W^2}$$

$$W_{tot} = \sqrt{(0.06)^2 + (1640)^2}$$

$$W_{tot} = 1641 \frac{kg}{km}$$

$$W_{tot} = 1.641 \frac{kg}{m}$$

Besar tegangan tarik saluran dipeoleh akibat pertambahan berat yang disebabkan oleh tekanan angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_L &= T \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{W_{tot} \cdot L_e}{T} \right)^2 \right] \\ &= 3400 \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{1,641 \cdot 421,7}{3400} \right)^2 \right] \\ &= 3400 \left[ 1 + \frac{1}{8} \left( \frac{1,641 \cdot 421,7}{3400} \right)^2 \right] \\ &= 3417,61 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Besar andongan saluran dipeoleh akibat pertambahan berat yang disebabkan oleh tekanan angin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= \frac{W_{tot} L^2}{8T} \\ d &= \frac{(1.64)(421,7)^2}{8(3400)} \\ d &= 10,73 \text{ m} \end{aligned}$$

Pertambahan panjang kawat pada span saluran sebesar::

$$\begin{aligned} l &= L_e \left( 1 + \frac{8d^2}{3L_e^2} \right) \\ &= 421,7 \left( 1 + \frac{8 \cdot 10,73^2}{3 \cdot 421,7^2} \right) \\ &= 422,43 \text{ m} \end{aligned}$$

Pengaruh tekanan angin sebesar 0,06 kg yang terjadi pada pukul 01.00 menyebabkan pertambahan berat saluran menjadi 1,641 kg/m dengan tegangan tarik sebesar 3417,61 kg dan andongan sebesar 10,73 m dan menyebabkan pertambahan panjang kawat menjadi 422,43 m. Untuk nilai berat saluran, tegangan tarik, andongan dan panjang kawat perjamnya dapat dilihat pada tabel IV di bawah ini.

TABEL IV  
BESAR TEGANGAN TARIK DAN ANDONGAN SETIAP FASA

Pukul	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Tarik (Kg)	Andongan (m)	Panjang Kawat (m)
01.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
02.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
03.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
04.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
05.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
06.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
07.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
08.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
09.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
10.00	1,11	3417,59	10,72	422,43
11.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
12.00	1,94	3417,634	10,74	422,43
13.00	2,50	3417,719	10,76	422,43
14.00	2,50	3417,719	10,76	422,43
15.00	2,50	3417,719	10,76	422,43
16.00	3,06	3417,886	10,81	422,44
17.00	2,50	3417,719	10,76	422,43
18.00	1,94	3417,634	10,74	422,43
19.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
20.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
21.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
22.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
23.00	1,67	3417,611	10,73	422,43
00.00	1,67	3417,611	10,73	422,43

Besar kecepatan angin berpengaruh terhadap nilai dari tekanan yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan angin maka tekanan yang dihasilkan pun akan semakin besar yang menyebabkan penambahan berat konduktor saluran semakin besar pula. Unjuk kerja mekanik saluran dipengaruhi oleh berat konduktor saluran. Berat konduktor yang semakin besar mengakibatkan nilai tegangan tarik dan andongan semakin besar yang artinya unjuk kerja mekanik saluran semakin terbebani. Table IV diatas menunjukkan kecepatan angin tertinggi terjadi pada pukul 16.00 yaitu sebesar 3,06 m/s. Hal ini menyebabkan andongan pada saat itu juga lebih besar dari pada jam-jam yang lainnya yaitu sebesar 10,81 m. Hal ini menunjukkan pada kecepatan angin maksimum nilai andongan saluran masih pada kondisi aman atau sesuai SNI 04-6918-2002.

## V. KESIMPULAN

Tegangan tarik dan andongan terhadap arus saluran dan kondisi cuaca pada saluran transmisi Nagan Raya-Sigli pada tanggal 6 Juni 2017 masih menunjukkan unjuk kerja yang baik sesuai SNI 04-6918-2002.

Panas saluran menambah berat konduktor. Pada jumlah panas maksimum, Berat bertambah sebesar 2,28 % dan menyebabkan andongan maksimum sebesar 10,87 m.

Tekanan angin maksimal terjadi pada kecepatan angin maksimal yaitu sebesar 3,06 m/s dan menghasilkan tekanan sebesar 0,21 kg menyebabkan penambahan berat konduktor sebesar 0,846 % dengan nilai andongan sebesar 10,81 m.

## REFERENSI

- [1] Muchlis, M., & Permana, A. D. (2003). *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sd 2020*. Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang, Jakarta.
- [2] Gönen, T. (2014). *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*. CRC Press.
- [3] Anna Lastya, Hari. *Analisa Pengaruh Eksternal Dan Internal Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Transmisi 150 Kv*. [online].
- [4] Lindberg, E. (2011). *The overhead line sag dependence on weather parameters and line current*. ISSN 1401-5765 . Printed at the Department of Earth Sciences, Geotryckeriet, Uppsala University, Uppsala.
- [5] Douglass, Dale., & Reding, Jerry. (2012). *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*. New York, NY 10016-5997.
- [6] Hutauruk, T. S. (1985). *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga
- [7] Rohsenow, W. M., & Cho, Y. I. (1998). *Handbook of heat transfer*(Vol. 3). J. P. Hartnett (Ed.). New York: McGraw-Hill.
- [8] Begamudre, R. D. (2007). *Extra high voltage AC transmission engineering*. New Age International.
- [9] Stephanus A. Ananda,dkk. (2006). *Pengaruh Perubahan Arus Saluran Tegangan tarik dan Andongan pada Sute 500 KV di Zona Krian*. [online].
- [10] Theraja, B. L., & Sedha, R. S. (2006). *A textbook of electrical technology*.
- [11] PT. PLN. (1981). *ACSR. SPLN 41-7*
- [12] PT. PLN. (2014). *Buku pedoman pemeliharaan SUTT/SUTET*. Jakarta