

# Analisis Kopling Elektromagnetik Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV (Aplikasi: PT.PLN Persero Unit Tragi Sei Rotan)

**Yusmartato<sup>1)</sup>, Ramayulis Nasution<sup>2)</sup>, Abdurrozzaq Hasibuan<sup>3)</sup>**

<sup>1),2)</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, <sup>3)</sup>Dosen Program Studi Teknik Industri  
Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara  
*yusmartato@ft.uisu.ac.id ; rozzaq@uisu.ac.id*

## Abstrak

*Parameter-parameter saluran transmisi antara lain adalah: resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi. Salah satu parameter yang dibahas kali ini adalah mengenai induktansi. Beban induktansi terjadi, apabila suatu penghantar dialiri arus listrik, maka pada penghantar itu akan menimbulkan medan magnet. Pada penghantar itu sendiri timbul 2 macam fluks, yaitu fluks internal yang menggandeng seluruh bahagian penghantar dari titik pusat hingga titik terluarnya, dan mengimbaskan (menginduksikan) suatu tegangan pada penghantar itu, tegangan imbas (induksi) yang ditimbulkan oleh kopling atau gandengan fluks internal tersebut merupakan suatu drop tegangan atau rugi-rugi transmisi, dan rugi-rugi ini disebut induktansi internal. Fluks yang ditimbulkan berikutnya adalah fluks eksternal yang terjadi di luar penghantar tersebut, apabila terdapat 2 buah penghantar yang jaraknya berdekatan, maka medan magnet berupa fluksi-fluksi eksternal yang ditimbulkan masing-masing penghantar akan saling melingkupi, proses ini disebut sebagai kopling fluks eksternal, dan rugi-rugi yang diakibat oleh kopling fluks eksternal, dinamakan induktansi eksternal. Peristiwa elektris yang menyertai terjadinya induktansi ini merupakan suatu hal yang umum yang sering terjadi dalam suatu rangkaian listrik dan peristiwa ini mempunyai pengaruh yang cukup penting bagi keseimbangan beban rangkaian listrik tersebut. Hal yang sama juga terjadi pada sistem penyaluran daya contohnya sistem penyaluran daya PLN, yang dapat memengaruhi keseimbangan beban pada sistem penyaluran daya ke pusat-pusat beban atau konsumen. Namun dengan menerapkan suatu perhitungan terhadap kondisi yang terjadi maka pengaruh kopling elektromagnetik ini dapat diketahui secara jelas, dan dapat dipergunakan dalam menganalisa suatu sistem penyaluran daya khususnya yang diakibatkan oleh beban yang terdapat pada saluran transmisi tegangan tinggi.*

*Kata Kunci: Kopling, Fluks, Induktansi, Reaktansi Induktif*

## I. PENDAHULUAN

Saluran transmisi adalah hal yang sangat diperlukan dalam menyalurkan daya listrik dari suatu pembangkit tenaga listrik ke pusat-pusat beban. Saluran transmisi yang memiliki efisiensi daya listrik yang tinggi adalah salah satu hal yang sangat penting dalam perencanaan pembangunan suatu sistem penyaluran daya. Panjang saluran transmisi, konfigurasi penghantar dalam suatu konstruksi menara transmisi dan lain sebagainya dapat mempengaruhi nilai parameter-parameter yang terdapat pada sistem transmisi tersebut. Parameter-parameter ini adalah penentu efisiensi daya listrik sehingga sangat perlu diketahui apa yang menyebabkan terjadinya parameter-parameter tersebut, serta apa yang disebabkan oleh parameter-parameter ini terhadap penyaluran daya listrik.

Pada sistem arus bolak-balik yang memiliki parameter resistansi, kapasitansi dan induktansi yang membuat rugi-rugi daya bertambah sehingga efisiensi sistem menurun pada saluran transmisi. Dari ketiga parameter tersebut di atas, beban induktansi yang terjadi diakibatkan karena arus bolak-balik tersebut menimbulkan medan magnet di sekitar penghantarnya. Saluran transmisi AC yang terdiri dari 3 fasa penghantar terpisahkan satu sama lain pada jarak yang ditentukan berdasarkan

perencanaan perhitungan kelistrikan dengan konstruksi sipilnya yang telah ditentukan. Namun pada jarak tersebut ketiga fasa saluran tunggal memiliki medan magnet sendiri-sendiri yang melingkupi atau menggandeng penghantar yang berada di sekitarnya. Karena adanya proses induksi pada suatu fasa, maka pada fasa tersebut akan muncul tegangan induksi. Hal ini terjadi pada masing-masing fasa tersebut maupun pada kawat tanah, atau dapat dikatakan pada suatu titik di sekitar penghantar tersebut yang dilingkupi oleh medan magnet terjadi suatu induksi.

Bagaimanakah proses kopling terjadi pada saluran penghantar dan menghitung nilai variabel-variabel yang berhubungan dengan kopling elektromagnetik tersebut. Variabel-variabel tersebut antara lain adalah jarak pisah antar penghantar, induktansi (L) maupun reaktansi induktif ( $X_L$ ) yang diakibatkan oleh kopling. Telah disebutkan bahwa kopling elektromagnetik ini terjadi pada permukaan luar antara saluran-saluran yang dialiri oleh arus listrik. Namun demikian, kopling ini terdapat pula pada bagian dalam penghantar masing-masing yang diakibatkan oleh fluks internal menggandeng arus yang mengalir tersebut. Sehingga diketahui fluks internal dan fluks eksternal adalah rangkaian pembentuk fluks gandeng pada masing-masing saluran penghantar. Sehingga pembahasan kopling

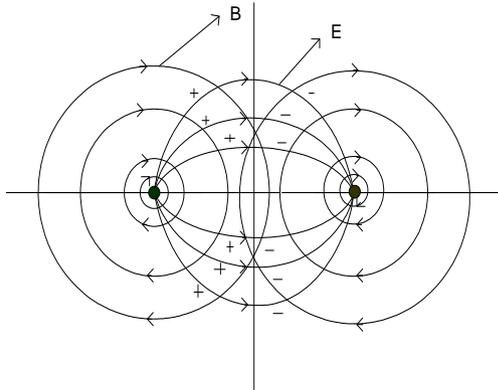
ini dilandaskan oleh dua hal yaitu fluks gandeng internal dan fluks gandeng eksternal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kopling Medan Magnet Dan Medan Listrik Pada Dua Penghantar.

Jika arus mengalir pada suatu rangkaian listrik, beberapa sifat rangkaian itu dapat dijelaskan menurut medan magnet dan medan listrik yang timbul di sekitarnya.

Pada Gambar 1 memperlihatkan suatu saluran dua kawat serta medan magnet dan medan listriknya. Garis fluks magnetisnya (B) membentuk lingkaran tertutup (closed Loops) yang meliputi rangkaian, dan garis-garis fluks listriknya (E) bermula dari muatan positif pada salah satu penghantar dan berakhir pada muatan negatif pada penghantar yang lain.



Gambar 1. Garis gaya medan magnet (B) dan garis gaya medan listrik (E) dari Suatu saluran dua kawat.

Suatu perubahan arus didalam penghantar akan menyebabkan suatu perubahan pada banyaknya garis fluks yang meliputi rangkaian. Dan setiap perubahan pada fluks yang meliputi rangkaian mengimbaskan (menginduksikan) suatu tegangan pada suatu rangkaian tersebut yang besarnya sebanding dengan kecepatan perubahan fluks. Induktansi adalah sifat rangkaian yang menghubungkan tegangan yang diinduksikan oleh perubahan fluks dengan kecepatan perubahan arus.

### B. Induktansi Penghantar Yang Disebabkan Oleh Fluks Internal.

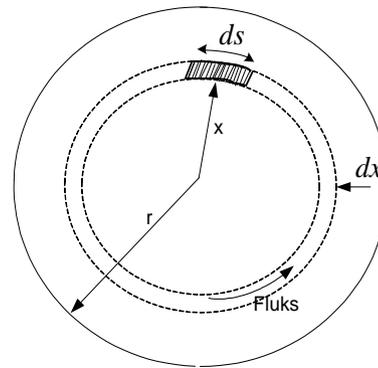
Pada Gambar 2 hanya memperlihatkan garis fluks yang berada di luar penghantar (external). Tetapi sebenarnya sebagian dari medan magnet juga berada di dalam penghantar (internal). Berubahnya garis fluks di dalam penghantar juga berpengaruh terhadap tegangan imbas pada rangkaian dan juga terhadap induktansi.

Nilai induktansi sesungguhnya yang disebabkan oleh fluks internal dapat dihitung sebagai perbandingan fluks gandeng terhadap arus, dengan memperhitungkan juga bahwa setiap garis fluks internal hanya menggandengkan sebahagian kecil dari arus total.

Untuk mendapatkan nilai yang tepat untuk induktansi suatu saluran transmisi, perlu ditinjau fluks di dalam setiap penghantar seperti halnya juga dengan fluks di luar penghantar.

Jika sebuah konduktor dialiri arus, maka di sekeliling konduktor timbul lingkaran-lingkaran khayal fluks magnet. Bila dimisalkan Jalan kembalinya arus dalam penghantar ini demikian jauhnya, maka tidak berpengaruh besar pada medan magnet penghantar yang digambarkan, maka garis fluks adalah kosentris dengan penghantar.

Tinjaulah fluks yang menembus elemen  $ds$  dengan jarak  $x$  dari pusat konduktor. Menurut hukum Ampere itu adalah mmf (magneto motive force) atau gaya gerak magnet pada suatu lintasan tertutup  $H$  adalah sama dengan arus yang dikelilingi oleh lintasan tersebut.



Gambar 2. Penampang suatu penghantar berbentuk lingkaran

Keterangan :

$r$  = jari-jari penghantar

$x$  = jari-jari.

$dx$  = fluks yang berjarak  $x$  dari pusat konduktor.

$ds$  = integral tertutup.

Mmf juga sama dengan integral dari komponen garis singgung (tangential) dari kuat medan magnet di sepanjang jalur yang sama, jadi :

$$mmf = \oint_s H \cdot ds = I \text{ (Amp-Turn)} \quad (1)$$

di mana:

$H$  = intensitas medan magnet (ampere-turn/meter)

$S$  = jarak sepanjang jalur(m)

$I$  = arus yang dikelilingi oleh lintasan (amp)

Dimisalkan intensitas medan magnet pada elemen  $dx$  yang berjarak  $x$  dari pusat konduktor adalah  $H_x$ . Karena medan itu simetris,  $H_x$  adalah konstan untuk semua titik pada jarak yang simetris (sama) dari titik tengah penghantar. Jika integrasi dalam Persamaan (1) dilakukan sepanjang jalur berbentuk lingkaran yang kosentris dengan penghantar pada jarak  $x$  meter dari titik tengah,  $H_x$  konstan di sepanjang jalur tersebut dan merupakan garis singgungnya. Persamaan (1) menjadi:

$$\oint_s H_x \cdot ds = I_x$$

$$H_x \oint_s ds = I_x$$

$$H_x s = I_x$$

Di mana:

s = lintasan tertutup jarak sepanjang jalur (m)

Maka  $s = 2\pi x$

$$H_x = \frac{I_x}{2\pi x} \text{ (Amp-Turn/meter)} \quad (2)$$

Di mana  $I_x$  adalah arus yang dikelilingi oleh jalur. Kemudian, dengan memisalkan kerapatan arus pada konduktor uniform, diperoleh :

$$J_x = J_r$$

$$\frac{I_x}{A_x} = \frac{I_r}{A_r}$$

$$\frac{I}{\pi x^2} = \frac{I_x}{\pi r^2}$$

$$I_x \pi x^2 = I \pi r^2$$

$$I_x = I \frac{\pi x^2}{\pi r^2} = \frac{x^2}{r^2} I \text{ (Amper)} \quad (3)$$

Di mana :

$I_x$  = arus yang dikelilingi oleh jalur.(Amper)

$A_x$  = luas lingkaran dengan jari-jari x ( $A_x = \pi x^2$ )

$A_r$  = luas lingkaran dengan jari-jari r ( $A_r = \pi r^2$ )

Dengan mensubstitusikan Persamaan (3) dan (2) diperoleh :

$$H_x = \frac{x}{2\pi r^2} I \text{ (Amp-Turn/meter)} \quad (4)$$

Kerapatan fluks (flux density) pada jarak x meter dari titik penghantar adalah:

$$B_x = \mu H_x = \frac{\mu x I}{2\pi r^2} \text{ (Weber/meter}^2\text{)}$$

Besarnya fluks pada elemen  $dx$  :

$$d\psi = B_x dA = B_x dx \text{ (Weber-Turn/meter)} \quad (5)$$

Karena fluks  $d\psi$  tidak melingkupi semua arus dalam konduktor(hanya sebahagian) maka besarnya fluksi lingkup (fluks lingkup) adalah :

$$d\psi = \frac{I_x}{I} d\psi$$

Harga  $I_x$  dari Persamaan (3) disubtitusikan ke Persamaan (5) maka diperoleh :

$$d\psi = \frac{I \pi x^2}{\pi r^2} \cdot \frac{B_x dx}{I}$$

$$d\psi = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} \cdot \frac{\mu I x}{2\pi r^2} dx$$

$$d\psi = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} \cdot \frac{\mu I x}{2\pi r^2} dx = \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx \text{ (Weber-Turn/meter)} \quad (6)$$

Fluksi lingkup total di dalam konduktor diperoleh:

$$\psi_{int} = \int \frac{\mu I x^3}{2\pi r^4} dx$$

$$\psi_{int} = \frac{\mu I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3$$

$$\psi_{int} = \frac{\mu I}{2\pi r^4} \left[ \frac{1}{4} x^4 \right]_0^r$$

$$\psi_{int} = \frac{\mu I}{8\pi r^4} [r^4]$$

$$\psi_{int} = \frac{\mu I}{8\pi} \text{ (Weber-Turn/meter)} \quad (7)$$

dimana:

$\psi_{int}$  = fluks internal (fluks gandeng total dalam penghantar)

jika media sekitar konduktor adalah udara, maka :

$$\mu_r = 1$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Henry/meter}$$

Dimana,  $\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ .

Jadi Persamaan (11) menjadi :

$$\psi_{int} = \frac{4\pi 10^{-7} \times I}{8\pi} \text{ (Weber-Turn/meter)}$$

Sehingga diperoleh :

$$\psi_{int} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \times I \text{ (Weber-Turn/meter)} \quad (8)$$

Induktansi konduktor yang disebabkan oleh fluksi lingkup internal adalah:

$$L_{int} = \frac{\psi_{int} \times I}{I} \text{ (Henry/meter)}$$

$$L_{int} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \text{ (Henry/meter)} \quad (9)$$

Dimana

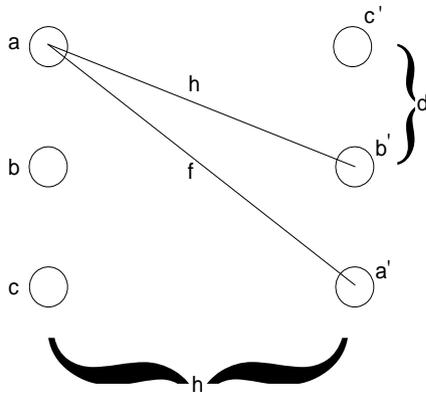
$L_{int}$  = induktansi internal penghantar (Henry/meter)

$L_{int}$  merupakan induktansi per unit panjang (henry per meter) untuk suatu penghantar berpenampang bundar yang disebabkan hanya oleh fluks yang berada didalam penghantar.

### C. Saluran Tiga Fasa Rangkaian Paralel.

Dua rangkaian tiga fasa yang identik susunanya dan secara elektrik terhubung paralel mempunyai reaktansi induktif yang sama. Reaktansi induktif rangkaian tunggal hanya setengah dari yang dimiliki oleh masing-masing rangkaian yang ditinjau secara tersendiri jika rangkaian itu terpisah sangat jauh sehingga induktansi timbal balik diantaranya dapat diabaikan. jika kedua rangkaian tersebut terletak pada menara yang sama, metode GMD dapat dipakai untuk mendapatkan induktansi

perfasa dengan menganggap bahwa semua penghantar pada setiap fasa tertentu sebagai lilitan-lilitan atau serat-serat suatu penghantar terpadu.



**Gambar 3. Susunan penghantar yang khas pada suatu saluran tiga fasa parallel**

Pada Gambar 3 memperlihatkan susunan yang khas dari suatu saluran tiga fasa rangkaian parallel. Meskipun saluran dalam kenyataannya mungkin tidak ditransposisikan, akan didapatkan suatu nilai yang praktis untuk induktansi dan perhitungannya akan menjadi lebih sederhana jika dimisalkan bahwa saluran tersebut ditransposisikan. Penghantar *a* dan *a'* diparalelkan untuk membentuk fasa *a*, demikian pula untuk fasa *b* dan *c*. dimisalkan pula bahwa *a* dan *a'* menempati posisi *b* dan *b'* dan kemudian posisi *c* dan *c'* ketiga penghantar-penghantarnya diputar dengan cara yang sama pada siklus transposisi.

Untuk menghitung  $D_{eq}$ , metode GMD mensyaratkan pemakaian  $D_{ab}^p, D_{bc}^p, D_{ca}^p$  dimana superscrip menunjukan bahwa kuantitas-kuantitas ini sendiri adalah nilai-nilai GMD dan  $D_{ab}^p$  berarti GMD antara penghantar-penghantar fasa *a* dan *b*.

$D_s$  pada Persamaan (43) digantikan  $D_s^p$ , yaitu rata-rata geometris nilai-nilai GMR untuk dua penghantar yang mula-mula menempati posisi *a* dan *a'*, kemudian posisi *b* dan *b'*, dan, *c* dan *c'*.

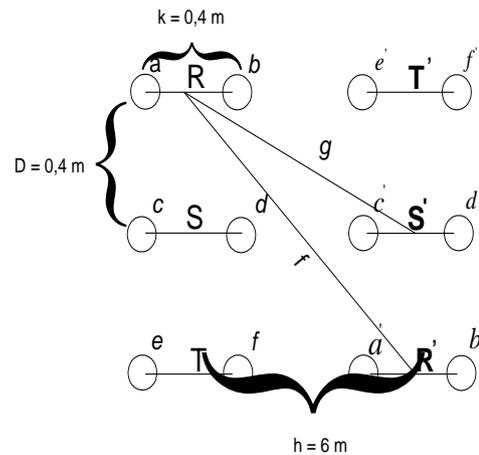
### III. METODE PENELITIAN

Data-data transmisi yang diambil adalah di Gardu induk Sei Rotan, yaitu antara transmisi Gardu Induk Sei Rotan ke Gardu induk KIM yaitu sebagai berikut :

- a. Panjang transmisi = 20,740 Km
- b. Kapasitas penyaluran = 193,5 MVA
- c. Tegangan kerja = 150 KV
- d. Banyaknya sirkuit = 2 Buah
- e. Frekuensi = 50 Hz
- f. jenis konduktor = ACSR (Aluminium conductor steel reinforced)/ Hawk

- g. Luas Penampang Konduktor =  $2 \times 240 \text{ mm}^2$
- h. Arus Nominal =  $2 \times 645$  amper
- i. Diameter penghantar = 17,48 mm
- j. Jari-jari penghantar = 8,74 mm

Pada Gambar 4 gambar konfigurasi konduktor pada saluran transmisi adalah sebagai berikut :



**Gambar 4. Konfigurasi konduktor saluran transmisi 3 fasa rangkaian parallel dengan berkas dua penghantar.**

Keterangan :

- D = jarak antar fasa. R, S, T, dan R', S', T'.
- k = jarak antar penghantar itu sendiri.
- h = jarak antar fasa T dan R, fasa S dan S', dan fasa R dan T'.
- g = jarak antar fasa R dan S'.
- f = jarak antar fasa R dan R'..

- Di mana :
- h = 6 m
- D = 1,5 m
- k = 40 cm = 0,4 m

Untuk Mencari g dan f :

$$g^2 = h^2 + d^2$$

$$g = \sqrt{6^2 + 1,5^2} = 6,18 \text{ m}$$

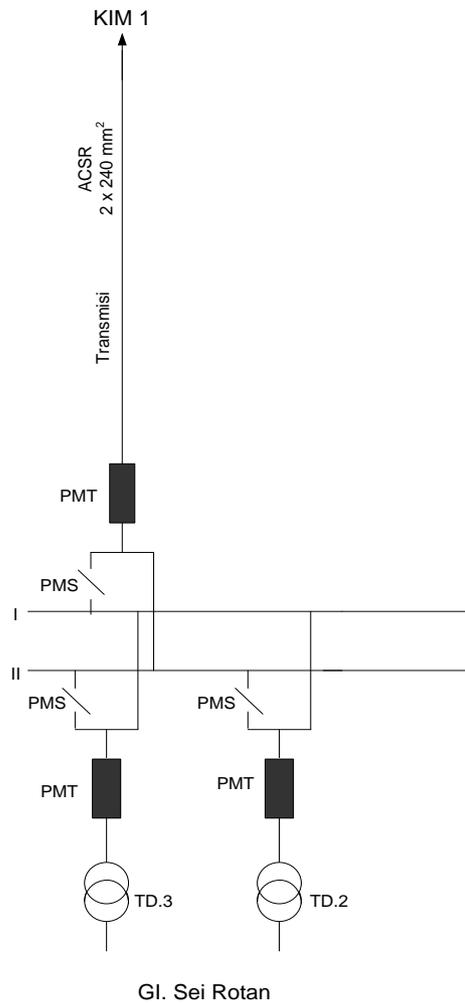
$$f^2 = (d+d)^2 + h^2$$

$$f^2 = \sqrt{3^2 + 6^2} = 6,71 \text{ m}$$

jenis Konduktor Hawk,  $D_s = 0,0289 \text{ ft}$

### One Line Diagram

One line diagram yang menunjukkan hubungan antara Tragi Sei Rotan - KIM 1 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram satu garis antara GI Sei Rotan – KIM 1

IV. ANALISA PERHITUNGAN

Jenis konduktor Hawk,  $D_s = 0,0289 \text{ ft}$ , GMD antara fasa-fasa adalah :

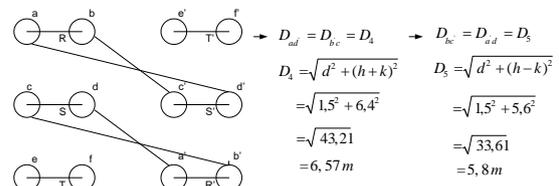
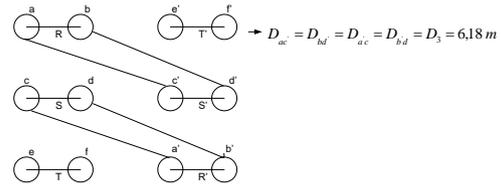
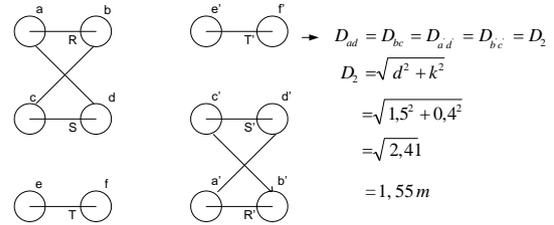
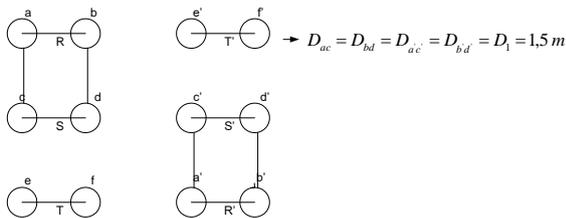
$$D_{12} = D_{RS}^P$$

$$D_{23} = D_{ST}^P$$

$$D_{31} = D_{TR}^P$$

Banyaknya konduktor pada fasa R,  $m = 4$  dan konduktor pada fasa S,  $n = 4$

$$D_{RS}^P = \sqrt[16]{(D_{ac}D_{ad}D_{ac}D_{ad})(D_{bc}D_{bd}D_{bc}D_{bd})(D_{ac}D_{ad}D_{ac}D_{ad})(D_{bc}D_{bd}D_{bc}D_{bd})}$$



Jadi,  $D_{RS}^P = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$

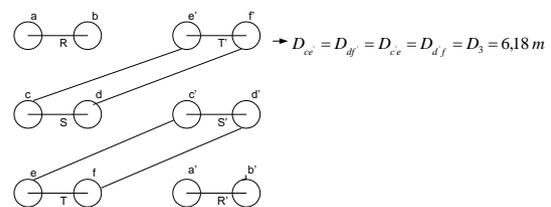
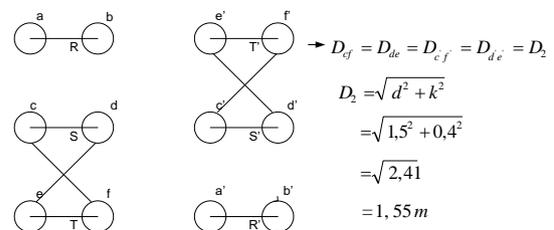
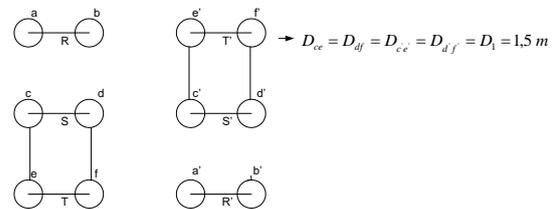
$$D_{RS}^P = \sqrt[16]{1,5^4 \cdot 1,55^4 \cdot 6,18^4 \cdot 6,57^2 \cdot 5,8^2}$$

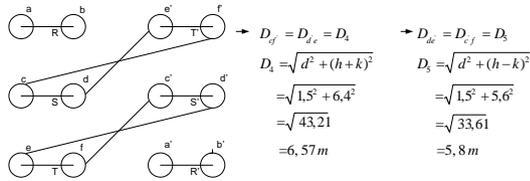
$$= \sqrt[16]{6,189 \cdot 10^7}$$

$$= 3,068 \text{ m}$$

Banyaknya konduktor pada fasa S,  $m = 4$  dan konduktor pada fasa T,  $n = 4$

$$D_{ST}^P = \sqrt[16]{(D_{ce}D_{cf}D_{ce}D_{cf})(D_{de}D_{df}D_{de}D_{df})(D_{ce}D_{cf}D_{ce}D_{cf})(D_{de}D_{df}D_{de}D_{df})}$$





Jadi,  $D_{ST}^P = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$

$$D_{ST}^P = \sqrt[16]{1,5^4 \cdot 1,55^4 \cdot 6,18^4 \cdot 6,57^2 \cdot 5,8^2}$$

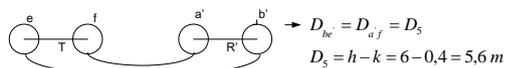
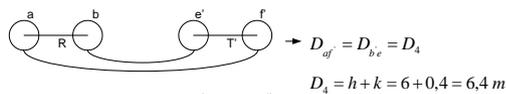
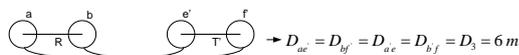
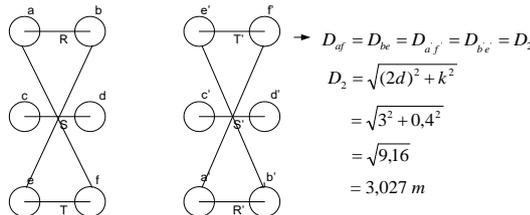
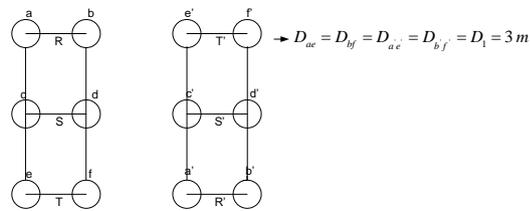
$$= \sqrt[16]{6,189 \cdot 10^7}$$

$$= 3,068 \text{ m}$$

Jadi,  $D_{ST}^P = D_{RS}^P = 3,068 \text{ m}$

Banyaknya konduktor pada fasa R,  $m = 4$ , dan konduktor pada fasa T,  $n = 4$

$$D_{TR}^P = \sqrt[16]{(D_{ac} D_{af} D_{ac} D_{af})(D_{bc} D_{bf} D_{bc} D_{bf})(D_{ae} D_{af} D_{ae} D_{af})(D_{be} D_{bf} D_{be} D_{bf})}$$



Jadi,  $D_{TR}^P = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$

$$D_{TR}^P = \sqrt[16]{3^4 \cdot 3,027^4 \cdot 6,4^2 \cdot 6,4^2 \cdot 5,6^2}$$

$$= \sqrt[16]{1,132 \cdot 10^7}$$

$$= 4,25 \text{ m}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{RS}^P D_{ST}^P D_{TR}^P}$$

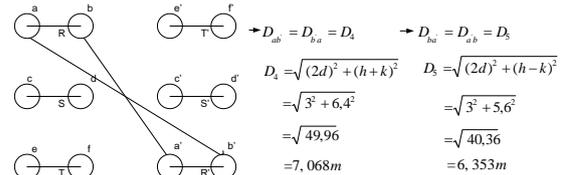
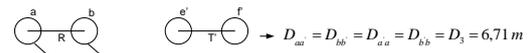
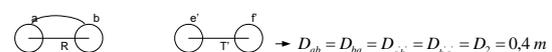
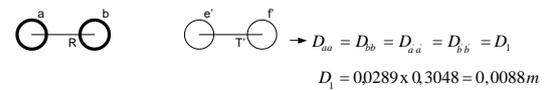
$$= \sqrt[3]{3,068 \cdot 3,068 \cdot 4,25}$$

$$= 3,42 \text{ m}$$

GMR untuk masing-masing fasa, untuk berkas dua penghantar:

Pada posisi R-R',

$$D_s^R = \sqrt[16]{(D_{aa} D_{ab} D_{aa} D_{ab})(D_{ba} D_{bb} D_{ba} D_{bb})(D_{aa} D_{ab} D_{aa} D_{ab})(D_{ba} D_{bb} D_{ba} D_{bb})}$$



Jadi,  $D_s^R = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$

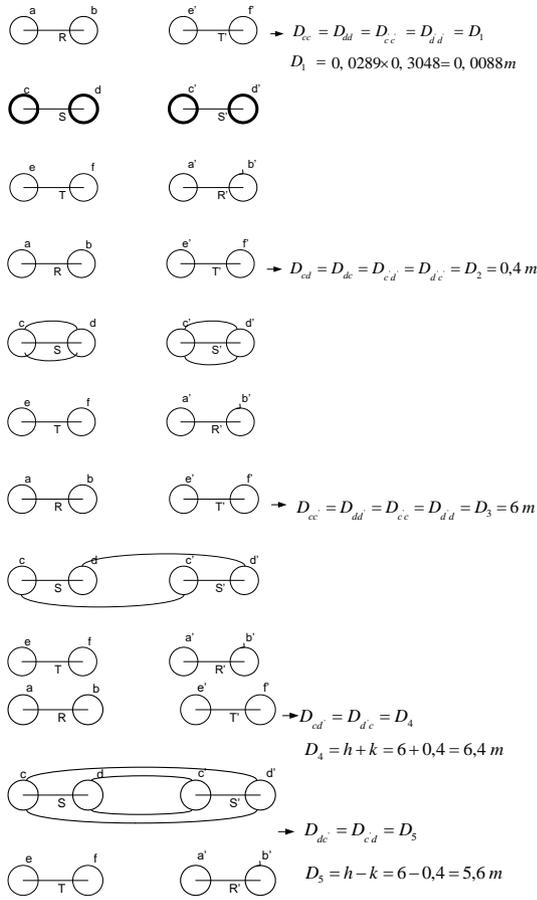
$$D_s^R = \sqrt[16]{0,0088^4 \cdot 0,4^4 \cdot 6,71^4 \cdot 7,068^2 \cdot 6,353^2}$$

$$= \sqrt[16]{6,27 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,631 \text{ m}$$

Pada posisi S-S':

$$D_s^S = \sqrt[16]{(D_{aa} D_{ad} D_{aa} D_{ad})(D_{dc} D_{dd} D_{dc} D_{dd})(D_{cc} D_{cd} D_{cc} D_{cd})(D_{dc} D_{dd} D_{dc} D_{dd})}$$



$$D_s^S = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$$

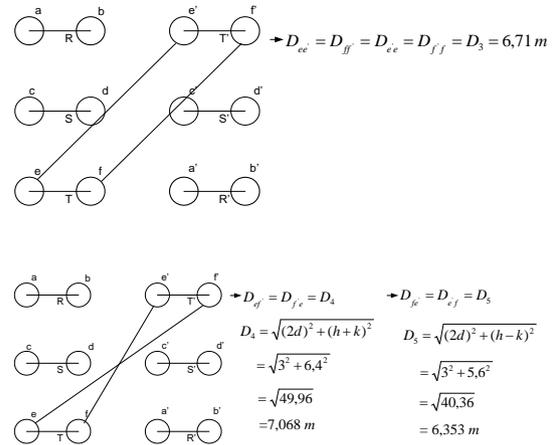
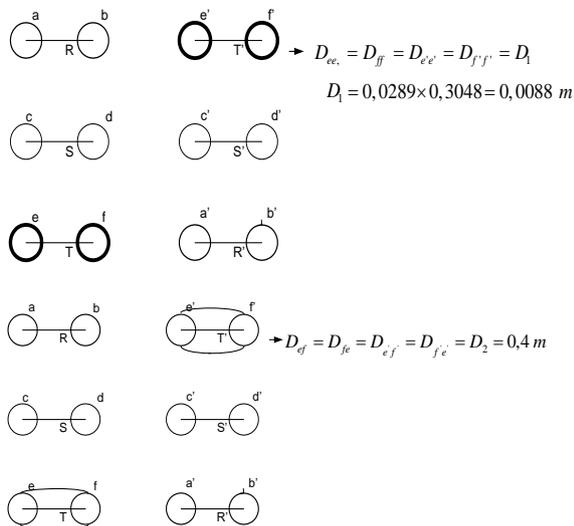
$$D_s^S = \sqrt[16]{0,0088^4 \cdot 0,4^4 \cdot 6^4 \cdot 6,4^2 \cdot 5,6^2}$$

$$= \sqrt[16]{2,56 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,596 \text{ m}$$

Pada posisi T-T :

$$D_s^T = \sqrt[16]{(D_{ee'} D_{ff'}) (D_{ff'} D_{ee'}) (D_{ee'} D_{ff'}) (D_{ff'} D_{ee'}) (D_{ee'} D_{ff'}) (D_{ff'} D_{ee'})}$$



$$D_s^T = \sqrt[16]{D_1^4 D_2^4 D_3^4 D_4^2 D_5^2}$$

$$D_s^T = \sqrt[16]{0,0088^4 \cdot 0,4^4 \cdot 6,71^4 \cdot 7,068^2 \cdot 6,353^2}$$

$$= \sqrt[16]{6,27 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,631 \text{ m}$$

Jadi untuk fasa R-R , dan T-T ' adalah :

$$D_s^T = D_s^R = 0,631 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh untuk induktansi saluran :

$$D_s^P = \sqrt[3]{D_s^R \cdot D_s^S \cdot D_s^T}$$

$$D_s^P = \sqrt[3]{0,631 \cdot 0,596 \cdot 0,631}$$

$$= 0,619 \text{ m}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^P}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{3,42}{0,619}$$

$$L = 3,42 \cdot 10^{-7} \text{ H/m per fasa}$$

Terlihat bahwa apabila  $D_{eq}$ , yaitu rata-rata geometris dari ketiga jarak pada saluran tidak simetris dibuat semakin besar dan dengan memisalkan GMD sendiri  $D_s$  yaitu jari-jari rata-rata geometris penghantar adalah tetap maka nilai induktansi akan bertambah. Namun hal ini akan dikembalikan hasilnya jika  $D_{eq}$  tetap dan  $D_s$  dibuat semakin besar, atau dengan kata lain induktansi berkurang apabila luas penampang konduktor diperbesar dan dalam hal ini adalah berkas dua penghantar.

Untuk reaktansi induktif ( $X_L$ ) saluran :

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$= 6,28 \cdot 50 \cdot 1000 \cdot 3,42 \cdot 10^{-7}$$

$$X_L = 0,107 \text{ } \Omega / \text{ km per fasa}$$

Panjang saluran transmisi GI sei rotan – GI KIM = 20,740 Km, sehingga diperoleh reaktansi induktif per fasa sepanjang saluran adalah :

$$X_L = 0,107 \times 20,740$$

$$= 2,22 \text{ } \Omega \text{ per fasa}$$

## V. KESIMPULAN

Dari peristiwa kopling elektromagnetik yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi, penulis mengambil kesimpulan yaitu :

1. Untuk suatu penghantar saluran udara berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa apabila ( $D_{eq}$ ), jarak dari pusat suatu berkas ke pusat berkas yang lain dibuat semakin besar, dan dengan memisalkan GMD sendiri, yaitu jari-jari rata-rata geomatis (GMR) atau dinyatakan dengan  $D_s$ , penghantar adalah tetap, maka nilai induktansi akan bertambah.
2. Dari hasil analisis dan pembahasan dapat dilihat bahwa induktansi berkurang apabila luas penampang konduktor diperbesar, dan dalam hal ini adalah untuk konduktor berkas dua penghantar.
3. Panjang saluran transmisi GI sei rotan – GI KIM = 20,740 Km, sehingga diperoleh reaktansi induktif per fasa sepanjang saluran adalah :  $X_L = 2,22 \Omega$  per fasa
4. Akibat terjadinya peristiwa kopling elektromagnetik pada transmisi udara tegangan tinggi adalah timbulnya parameter induktansi dan reaktansi induktif pada penghantar saluran. Dan nilai induktansi ini dipengaruhi oleh jarak rata-rata penghantar fasa ( $D_s$ ) maupun antar fasa saluran ( $D_{eq}$ )

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, 1998, *Transmisi Tenaga Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [2] A. Arismunandar dan S. Kuwahara, 1975, *Buku Pegangan Tenaga Listrik, Jilid II dan III, Saluran Transmisi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] B.M. Weedy, 1987, *Electric Power Systems, Third Edition Revised*, Jhon Wiley and Sons, Singapore New York, Toronto.
- [4] Joseph A. Edminister, 1984. *Elektromagnetika*, Erlangga, Jakarta.
- [5] J. Jhon Grainger, William D Stevenson, 1994, *Power system Analysis*, Mc Graw-Hill, Singapore.
- [6] Kamal Idris Ir / Terjemahan dari William D. Stevenson, 1990, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [7] Sulasno, 1993, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Satya Wacana, Semarang.
- [8] T.S Hutahuruk, 1990, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [9] Turan Gonen, 1985, *Electrical Power Transmision System Engineering*, California State University.
- [10] William D.Stevenson, Jr, 1984, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Alih Bahasa Ir. Kamal Idris. Erlangga, Jakarta
- [11] Parinduri, L., & Sulaiman, O. K. (2018, April). Biomass analysis at palm oil factory as an electric power plant. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1007, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.
- [12] Hasibuan, A., Arfah, M., Parinduri, L., Hernawati, T., Harahap, B., Sibuea, S. R., & Sulaiman, O. K. (2018, April). Performance analysis of Supply Chain Management with Supply Chain Operation reference model. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1007, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.