

Analisis Respons Getaran *Stockbridge Damper* sebagai *Dynamic Vibration Absorber* pada Kabel

Shinta Ayu Rizqi Habibah dan Harus Laksana Guntur
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: haruslg@me.its.ac.id

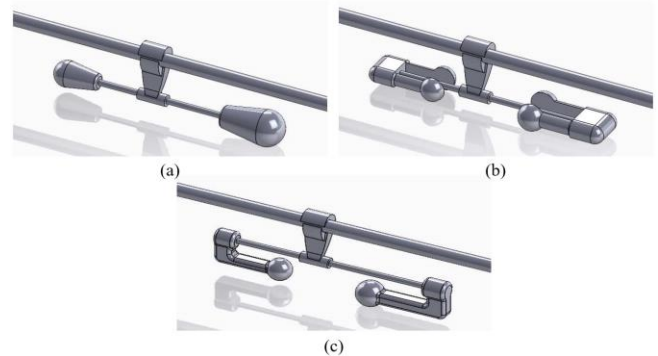
Abstrak—Penyediaan energi listrik yang stabil dan terjangkau di Indonesia sangat penting terutama dalam peningkatan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan, khususnya pada kabel transmisi. Salah satu faktor penyebab kabel transmisi mengalami kegagalan adalah getaran aeolian. Getaran ini dapat menyebabkan resonansi berlebih, sehingga diperlukan *stockbridge damper* sebagai *dynamic vibration absorber* untuk meredam getaran tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi massa dan bentuk *counterweight* dari *stockbridge damper* serta mengetahui desain yang optimal untuk meredam getaran kabel pada rentang frekuensi 25 Hz hingga 51 Hz. Penelitian ini menggunakan konduktor berdiameter 29 mm dengan panjang 60 m dan DVA yang terdiri dari *clamp*, kabel *messenger*, dan *counterweight*. Simulasi dilakukan menggunakan sistem analisis *static structural*, *modal*, dan *harmonic response* pada *Workbench ANSYS*. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, penambahan DVA pada kabel konduktor mampu mempengaruhi respons getaran sistem dengan dapat mereduksi getaran yang terjadi. Semakin besar kekakuan sistem, maka semakin luas jangkauan redaman dan amplitudo akan semakin menurun. Dari beberapa variasi yang dilakukan, variasi konduktor dengan DVA C tidak mampu mereduksi getaran pada frekuensi eksitasi angin 34,5 Hz dan variasi konduktor dengan DVA A5 tidak mampu meredam getaran pada frekuensi eksitasi angin 48,3 Hz. Namun, variasi konduktor dengan DVA A4 mampu memberikan reduksi getaran terbesar sekitar 80,4% pada frekuensi eksitasi angin 41,4 Hz untuk variasi massa *counterweight*. Sedangkan, variasi konduktor dengan DVA B memiliki nilai reduksi terbesar pada seluruh frekuensi eksitasi angin untuk variasi bentuk *counterweight*. Sehingga, konduktor dengan DVA B dapat dikatakan desain yang paling optimal dalam meredam getaran pada berbagai frekuensi eksitasi angin, yaitu dengan nilai reduksi sebesar 54,9% pada frekuensi 27,6 Hz, 5,9% pada frekuensi 34,5 Hz, 77,1% pada frekuensi 41,4 Hz, dan 3,3% pada frekuensi 48,3 Hz.

Kata Kunci—*Dynamic Vibration Absorber*, Kabel, Respons Getaran, *Stockbridge Damper*.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN energi listrik di Indonesia akhir-akhir ini meningkat begitu juga dengan peningkatan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan. Salah satu komponen terpentingnya kabel transmisi. dapat mengalami kegagalan, kegagalan utama dapat disebabkan oleh getaran aeolian. Getaran aeolian adalah fenomena di mana kabel transmisi bergetar karena dipengaruhi oleh angin. Untuk mengurangi getaran tersebut, maka diperlukan komponen peredam getaran yang disebut *stockbridge damper* sebagai *dynamic vibration absorber*.

Penelitian terkait optimalisasi desain peredam *stockbridge* telah banyak dilakukan, salah satunya adalah penelitian yang mengembangkan model peredam getaran baru dengan mengubah penyeimbang, panjang, dan penampang kabel penghubung agar jumlah frekuensi resonansi meningkat dari model peredam getaran komersial [1]. Selain itu, terdapat juga



Gambar 1. Rancangan sistem utama dengan (a) DVA A, (b) DVA B, dan (c) DVA C.

penelitian mengenai respons getaran dari peredam *stockbridge* pada arah vertikal dengan memvariasikan berat *counterweight* dan panjang kabel *messenger*.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan performa peredam *stockbridge*. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan dan analisis kinerja dari sebuah peredam *stockbridge* dengan memvariasikan massa dan bentuk *counterweight* untuk dapat meredam getaran kabel yang ada di wilayah Indonesia pada rentang frekuensi 25 Hz sampai 51 Hz. Hasil dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui respons getaran yang optimal dari seluruh variasi massa dan bentuk *counterweight* dengan menggunakan sistem analisis *static structural*, *modal*, dan *harmonic response* pada *software ANSYS*.

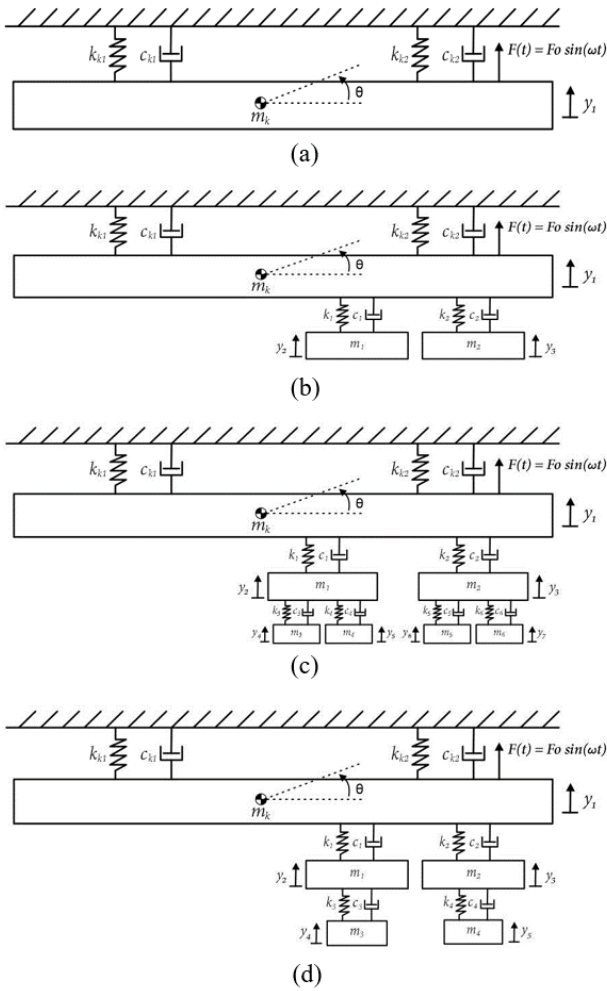
II. URAIAN PENELITIAN

A. Pemodelan Sistem Dinamis

Persamaan gerak sistem didapatkan dengan menyederhanakan rancangan desain sistem utama dengan DVA, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 ke dalam pemodelan sistem dinamis. Pemodelan sistem dinamis yang disederhanakan dari sistem utama tanpa DVA dan gabungan dari sistem utama dengan DVA dapat dilihat pada Gambar 2, dengan M_k adalah massa kabel konduktor, M_1 adalah massa *counterweight* 1, M_2 adalah massa *counterweight* 2, k_k adalah konstanta kekakuan kabel konduktor, k_1 adalah konstanta kekakuan kabel *messenger* 1, k_2 adalah konstanta kekakuan kabel *messenger* 2, c_k adalah konstanta redaman konduktor, c_1 adalah konstanta redaman kabel *messenger* 1, c_2 adalah konstanta redaman kabel *messenger* 2, y_1 adalah perpindahan massa sistem utama, $y_{2,3}$ adalah perpindahan massa DVA, θ adalah sudut kemiringan sistem utama saat bereksitasi, dan $F(t)$ adalah gaya eksitasi pada sistem utama.

B. Penurunan Persamaan Gerak

Berdasarkan pemodelan sistem dinamis, maka didapatkan *free body diagram* (FBD) dari sistem utama tanpa DVA dan



Gambar 2. Pemodelan sistem dinamis konduktor: (a) tanpa DVA, (b) dengan DVA A, (c) dengan DVA B, dan (d) dengan DVA C.

dengan DVA yang kemudian diturunkan dalam bentuk persamaan gerak. Untuk sistem utama tanpa DVA: Gerak translasi kabel konduktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F &= m \cdot a \\
 -F_{k_{k1}} - F_{c_{k1}} - F_{k_{k2}} - F_{c_{k2}} + F(t) &= m_k \ddot{y}_1 \\
 -k_{k1}(y_1 - \theta l) - c_{k1}(\dot{y}_1 - \dot{\theta} l) - k_{k2}(y_1 + \theta l) - c_{k2}(\dot{y}_1 + \dot{\theta} l) \\
 + F(t) &= m_k \ddot{y}_1
 \end{aligned}$$

Gerak rotasi kabel konduktor

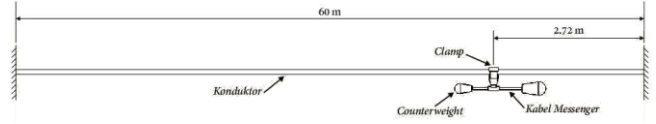
$$\begin{aligned}
 +\curvearrowright \sum M &= J \cdot \ddot{\theta} \\
 F_{k_{k1}} l + F_{c_{k1}} l - F_{k_{k2}} l - F_{c_{k2}} l &= J \ddot{\theta} \\
 k_{k1}(y_1 - \theta l) l + c_{k1}(\dot{y}_1 - \dot{\theta} l) l - k_{k2}(y_1 + \theta l) l - c_{k2}(\dot{y}_1 + \dot{\theta} l) l &= J \ddot{\theta}
 \end{aligned}$$

Untuk sistem utama dengan DVA: Gerak translasi massa kabel sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F &= m \cdot a \\
 -F_{k_{k1}} - F_{c_{k1}} - F_{k_{k2}} - F_{c_{k2}} + F(t) - F_{k_1} - F_{c_1} - F_{k_2} - F_{c_2} \\
 &= m_k \ddot{y}_1 \\
 -k_{k1}(y_1 - \theta l) - c_{k1}(\dot{y}_1 - \dot{\theta} l) - k_{k2}(y_1 + \theta l) - c_{k2}(\dot{y}_1 + \dot{\theta} l) \\
 + F(t) - k_1(y_1 + \theta b - y_2) - c_1(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_2) \\
 - k_2(y_1 + \theta b - y_3) - c_2(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_3) &= m_k \ddot{y}_1
 \end{aligned}$$

Gerak rotasi massa kabel

$$\begin{aligned}
 +\curvearrowright \sum M &= J \cdot \ddot{\theta} \\
 F_{k_{k1}} l + F_{c_{k1}} l - F_{k_{k2}} l - F_{c_{k2}} l - F_{k_1} b - F_{c_1} b - F_{k_2} b - F_{c_2} b &= J \ddot{\theta}
 \end{aligned}$$



Gambar 3. Komponen penyusun sistem utama dengan DVA.

Tabel 1. Spesifikasi Kabel Konduktor

Parameter	Nilai	Satuan
Jenis konduktor	ACSR	0,0193233
Tipe	450-A1/SA1A-54/7	0,0132334
Luas penampang	492	mm ²
Diameter	29	mm
Berat kawat	1578,2	kg/km
Gaya tarik	≥ 139,72	kN
Modulus elastisitas	7700	GPa
Densitas	2417	kg/m ³

Tabel 2. Jarak Gawang

Tipe Tower	Jarak Gawang (meter)	Nilai Lentutan Maksimum (meter)
SUTT 66 kV	60–300	2–8
SUTT 150 kV	80–350	2,5–11
SUTET 275 kV	400	15
SUTET 500 kV	320–450	14,69–18

Tabel 3. Material Stockbridge Damper

Komponen	Material
Clamp	Aluminum Alloy
Kabel messenger	Galvanized Steel
Counterweight	Ductile Iron

$$\begin{aligned}
 k_{k1}(y_1 - \theta l) l + c_{k1}(\dot{y}_1 - \dot{\theta} l) l - k_{k2}(y_1 + \theta l) l - c_{k2}(\dot{y}_1 + \dot{\theta} l) l \\
 - k_1(y_1 + \theta b - y_2) b - c_1(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_2) b \\
 - k_2(y_1 + \theta b - y_3) b - c_2(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_3) b = J \ddot{\theta}
 \end{aligned}$$

Gerak translasi massa 1

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F &= m \cdot a \\
 F_{k_1} + F_{c_1} &= m_1 \ddot{y}_2
 \end{aligned}$$

$$k_1(y_1 + \theta b - y_2) + c_1(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_2) = m_1 \ddot{y}_2$$

Gerak translasi massa 2

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F &= m \cdot a \\
 F_{k_2} + F_{c_2} &= m_2 \ddot{y}_3
 \end{aligned}$$

$$k_2(y_1 + \theta b - y_3) + c_2(\dot{y}_1 + \dot{\theta} b - \dot{y}_3) = m_2 \ddot{y}_3$$

C. Perancangan Desain Sistem

Proses perancangan model desain sistem ini akan menjadi objek utama yang di *input* dan dianalisis saat dilakukannya simulasi pada *software* ANSYS. Rincian spesifikasi dari sistem utama dan *stockbridge damper* (DVA) yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 3.

Sistem utama yang digunakan, yaitu kabel konduktor dengan panjang 60 meter dan *stockbirdge damper* diletakkan pada jarak 2,72 m dari ujung kanan kabel. Spesifikasi yang digunakan mengacu pada standar (SPLN T3.001-1:2015) dan (SPLN T5.006:2019) yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Sedangkan *stockbridge damper* atau *dynamic vibration absorber* (DVA) yang dirancang terdiri dari *clamp*, kabel *messenger*, dan *counterweight* dengan massa total DVA sebesar 4,5 kg. Penelitian ini menggunakan material dan model yang mengacu pada standar yang tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 4.
Frekuensi Sumber Getar

Rentang Eksitasi	Kecepatan Angin			
	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s
Frekuensi (Hz)	27,6	34,5	41,4	48,3

Tabel 5.
Parameter Kabel Konduktor

No.	Parameter	K (N/m)	M (Kg)	C (Ns/m)	ω_n (Hz)	ζ
1.	Konduktor	494,46	72,97	0,1520	0,41438	0,0004

Tabel 6.

Parameter Variasi DVA

No.	Parameter	K (N/m)	M (Kg)	C (Ns/m)	ω_n (Hz)	ζ
1.	DVA A1	70,528	4,019	0,426	21,083	0,0004
2.	DVA A2	84,120	4,058	0,467	22,915	0,0004
3.	DVA A3	90,721	4,198	0,494	23,397	0,0004
4.	DVA A4	102,890	4,166	0,524	25,013	0,0004
5.	DVA A5	66,258	4,284	0,426	19,794	0,0004
6.	DVA B	100,862	4,121	0,516	24,898	0,0004
7.	DVA C	113,181	4,503	0,571	25,232	0,0004

D. Penentuan Parameter

Sebelum melakukan proses simulasi, perlu diketahui terlebih dahulu parameter yang akan digunakan. Untuk rentang frekuensi sumber getar yang digunakan adalah rata-rata kecepatan angin di Indonesia sekitar 4 m/s hingga 7 m/s [2]. Dengan menggunakan persamaan *vortex shedding frequency* [3], maka nilai frekuensi dapat didapatkan melalui persamaan sebagai berikut.

$$f = \frac{U \cdot St}{D}$$

Keterangan:

U : Kecepatan angin (m/s)

St : Strouhal number untuk kabel bulat (0,2)

D : Diameter kabel konduktor (m)

Setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan rentang frekuensi sumber getar yang ditunjukkan pada Tabel 4. Adapun parameter dari sistem utama (kabel konduktor) dan sistem DVA yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain, yaitu nilai konstanta kekakuan ekuivalen yang dihitung dengan menggunakan simulasi *static structural* ANSYS, dimana kedua ujung kabel diberikan *fixed support* dan pemberian gaya pada permukaan kabel. Sedangkan untuk DVA dengan memberikan *fixed support* pada sisi dalam *clamp* dan penambahan gaya *standard earth gravity*. Kemudian didapatkan hasil deformasi statis pada setiap variasinya, seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.

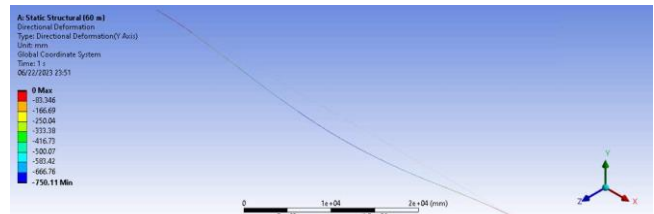
Selain itu, nilai massa ekuivalen sistem utama dan sistem DVA dapat didapatkan dengan menggunakan simulasi modal ANSYS. Dari simulasi ini didapatkan frekuensi natural dari masing-masing variasinya seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Kemudian, nilai konstanta redaman DVA didapatkan dari *damping ratio* (ζ) bernilai sekitar 0,0004. Dengan demikian, nilai konstanta kekakuan, massa ekuivalen, dan konstanta redaman didapat dari persamaan berikut.

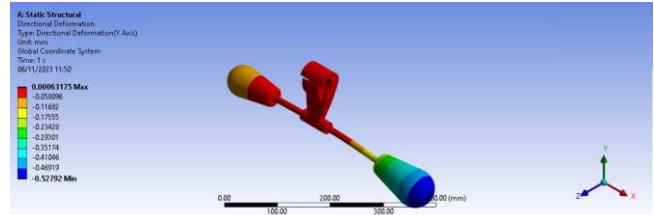
$$k = \frac{F}{\Delta x}$$

$$M = \frac{k}{\omega_n^2}$$

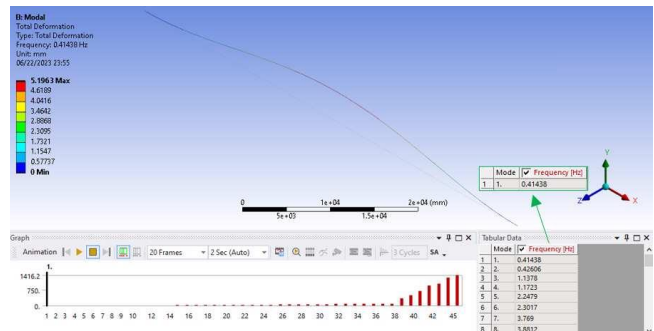
$$c = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{M \cdot k}$$



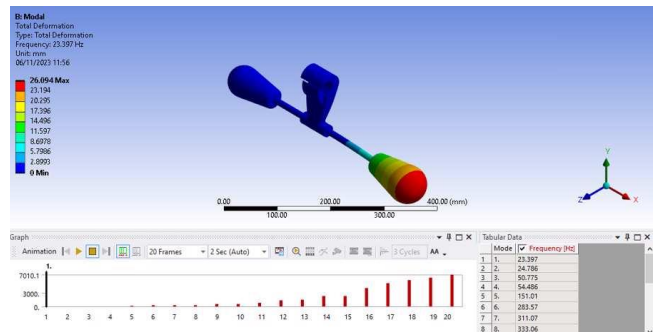
Gambar 4. Deformasi statis (y-axis) pada kabel konduktor.



Gambar 5. Deformasi statis (y-axis) pada stockbridge damper.



Gambar 6. Frequency natural dari kabel konduktor.

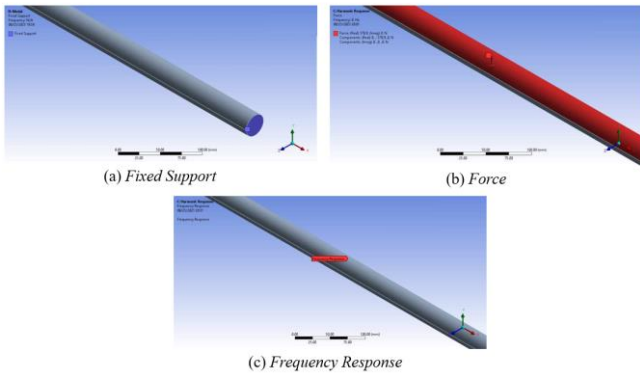


Gambar 7. Frequency natural dari stockbridge damper.

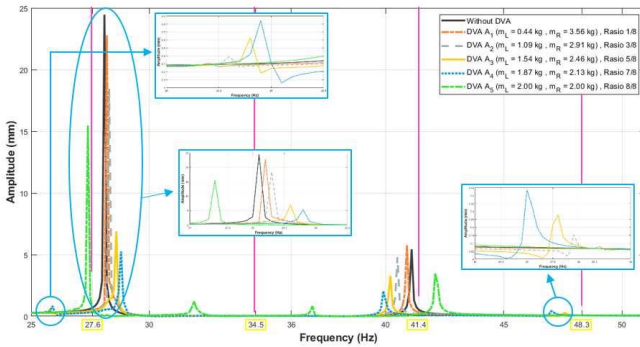
Sehingga, berdasarkan simulasi dan perhitungan yang sudah dilakukan, maka dapat dirangkum parameter dari kabel konduktor dan DVA seperti yang disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Analisis respons getaran didapatkan dengan menyimulasikan sistem menggunakan metode *finite element analysis* ANSYS. Tahapan awal dimulai dengan memasukkan *material properties* ke dalam *menu engineering data*, yang kemudian dilakukan *meshing* terhadap model yang akan disimulasikan. Dalam penelitian ini, terdapat 8 variasi desain yang terdiri 1 konduktor tanpa DVA dan konduktor dengan 7 variasi DVA yang terdiri dari 5 variasi massa *counterweight* dan 3 variasi bentuk *counterweight*.

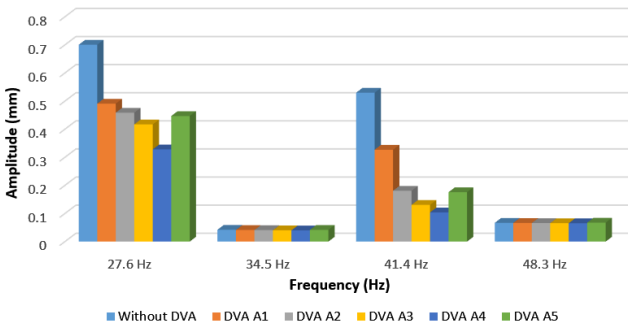
Simulasi ini dilakukan dengan memberikan *fixed support* pada bagian penampang kedua ujung konduktor dan pemberian gaya eksitasi ke arah vertikal (sumbu-y) pada bagian permukaan konduktor sebesar 370,9 N [4], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Kemudian *solution* pada *harmonic response* yang dianalisis adalah *directional deformation* arah y pada frekuensi eksitasi dan *frequency response* dalam bentuk *bode diagram*.



Gambar 8. Boundary condition.



Gambar 9. Respons getaran konduktor dengan variasi massa counterweight.



Gambar 10. Respons getaran konduktor dengan variasi massa counterweight terhadap frekuensi eksitasi angin.

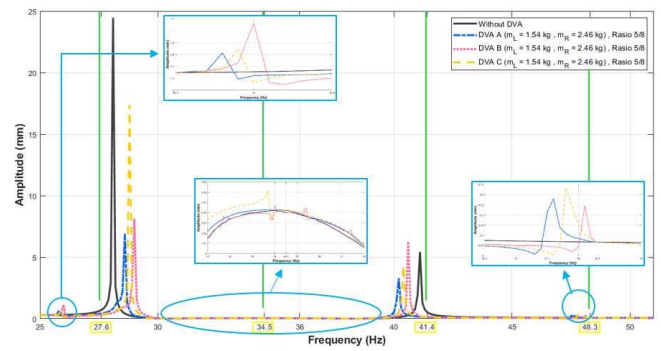
III. HASIL DAN DISKUSI

Simulasi dilakukan dengan melibatkan konduktor tanpa DVA dan konduktor dengan DVA yang memvariasikan massa dan bentuk *counterweight*. Data respons getaran yang dianalisis berada pada rentang frekuensi 25 Hz–51 Hz yang diolah menggunakan *software* Microsoft Excel dan di plot menjadi *bode diagram* pada *software* MATLAB yang meliputi grafik amplitudo terhadap frekuensi dan grafik persentase reduksi respons getaran.

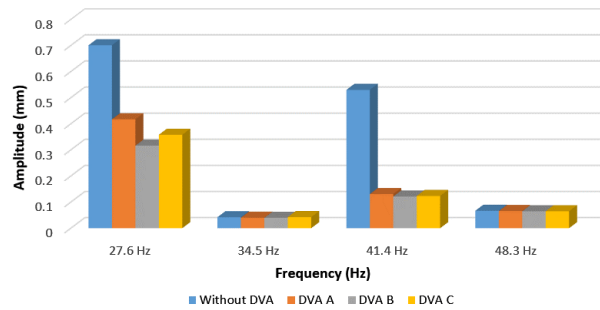
A. Respons Getaran Konduktor

Analisis respons getaran dari konduktor tanpa DVA dan konduktor dengan DVA variasi massa *counterweight* arah vertikal pada frekuensi 25 Hz–51 Hz disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 9.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa konduktor tanpa DVA memiliki 2 puncak amplitudo yang mendekati frekuensi eksitasi angin yaitu 27,6 Hz dan 41,4 Hz yang dapat menyebabkan resonansi berlebih pada konduktor. Sedangkan, konduktor dengan DVA memiliki 4 puncak amplitudo yang menandakan bahwa semakin besar rasio massa *counterweight*, yaitu kurang dari 1, maka



Gambar 11. Respons getaran konduktor dengan variasi bentuk counterweight.



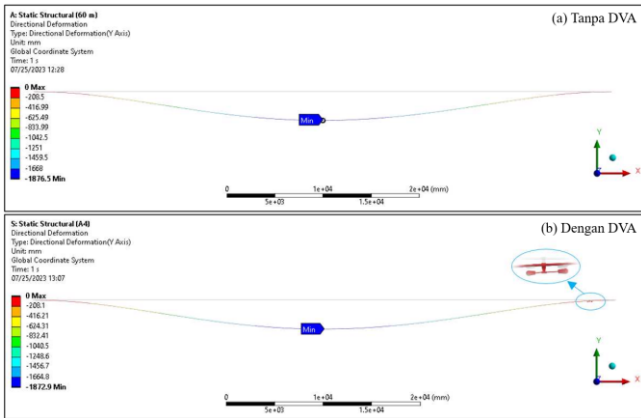
Gambar 12. Respons getaran konduktor dengan variasi bentuk counterweight terhadap frekuensi eksitasi angin.

kekakuan akan semakin meningkat dan memiliki amplitudo yang jauh lebih rendah sehingga mampu meredam getaran dengan baik. Hal tersebut terjadi karena dengan penambahan DVA pada sistem utama dapat meningkatkan efektivitas redaman pada frekuensi tertentu [4].

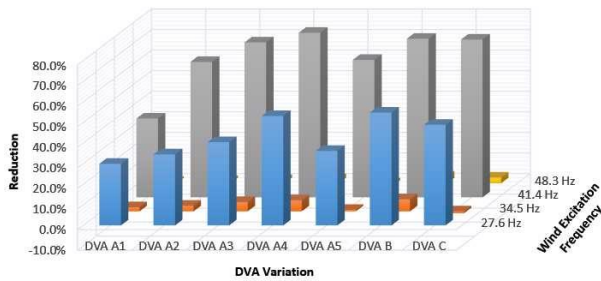
Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa nilai respons getaran dari kelima konduktor dengan DVA memiliki perbedaan dengan respons getaran konduktor tanpa DVA pada 4 frekuensi eksitasi angin yaitu 27,6 Hz, 34,5 Hz, 41,4 Hz, dan 48,3 Hz. Pada frekuensi operasional 27,6 Hz, kelima konduktor dengan DVA mampu mereduksi getaran sangat baik yaitu dapat direduksi dari 0,70063 mm menjadi 0,32801 mm. Pada frekuensi operasional 34,5 Hz dan 48,3 Hz memiliki perbedaan nilai respons getaran yang hampir sama antara konduktor dengan DVA dan konduktor tanpa DVA. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari konduktor tanpa DVA. Sedangkan pada frekuensi 41,4 Hz memiliki perbedaan nilai respons getaran yang signifikan antar variasinya. Perbedaan ini menunjukkan keefektifitasan DVA dalam meredam getaran yang terjadi. Semakin rendah amplitudo yang dihasilkan oleh konduktor dengan DVA pada frekuensi operasional tertentu, maka semakin tinggi kekakuan DVA dan semakin baik kinerja redaman DVA tersebut.

Selain itu, untuk analisis respons getaran dari konduktor tanpa DVA dan konduktor dengan DVA variasi bentuk *counterweight* arah vertikal pada frekuensi 25 Hz–51 Hz disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 11.

Berdasarkan grafik respons getaran variasi bentuk ini terlihat bahwa konduktor tanpa DVA memiliki 2 puncak amplitudo, konduktor dengan DVA A memiliki 4 puncak amplitudo, konduktor dengan DVA B memiliki 6 puncak amplitudo, dan konduktor dengan DVA C memiliki 8 puncak amplitudo. Hal ini terjadi karena variasi bentuk berpengaruh pada gaya angkat dan gaya *drag* yang terjadi. Sehingga



Gambar 13. Deformasi konduktor (a) tanpa DVA (b) dengan DVA.



Gambar 14. Pengaruh variasi massa dan bentuk *counterweight* DVA terhadap reduksi getaran konduktor.

penggunaan bentuk yang lebih kompleks mampu menyerap energi getaran lebih baik yang ditandai dengan amplitudo yang rendah [1].

Dari grafik batang pada Gambar 12, terlihat bahwa nilai respons getaran dari ketiga konduktor dengan DVA memiliki perbedaan yang signifikan dengan respons getaran konduktor tanpa DVA pada frekuensi eksitasi angin 27,6 Hz dan 41,4 Hz. Sedangkan, pada frekuensi operasional 34,5 Hz dan 48,3 Hz memiliki perbedaan nilai respons getaran yang hampir sama dan cenderung lebih rendah dibandingkan saat frekuensi operasional 27,6 Hz dan 41,4 Hz dengan nilai redaman terbesar terjadi pada konduktor dengan DVA B sebesar 0,039622 mm pada frekuensi 34,5 Hz dan 0,064586 mm pada frekuensi 48,3 Hz.

B. Deformasi Konduktor

Analisis deformasi dilakukan dengan membandingkan nilai deformasi konduktor tanpa DVA dan konduktor dengan DVA untuk setiap variasi massa dan bentuk *counterweight*. Deformasi statis ini dilakukan untuk mengukur deformasi maksimum ke arah vertikal akibat berat kabel itu sendiri. Area deformasi paling kritis yang terjadi pada kabel konduktor ditampilkan pada Gambar 13.

Hasil deformasi statis pada konduktor ini terjadi ketika konduktor dikenai suatu gaya yang dapat menyebabkan konduktor terdefleksi. Konduktor tanpa DVA memiliki nilai deformasi sebesar 1,876,7 mm, sedangkan konduktor dengan DVA A4 memiliki nilai deformasi sebesar 1,872,9 dan konduktor dengan DVA B memiliki nilai deformasi sebesar 1,872,6 mm. Dalam simulasi ini, defleksi terbesar dari konduktor mencapai 1,87 meter, yang mana ini masih berada dalam batas aman sesuai dengan standar PLN yaitu tidak melebihi 2 meter.

C. Reduksi Getaran

Analisis reduksi getaran pada konduktor dengan DVA

variasi massa dan bentuk *counterweight* terhadap konduktor tanpa DVA pada rentang frekuensi 25 Hz–51 Hz. Analisis reduksi getaran dilakukan pada frekuensi eksitasi angin 27,6 Hz, 34,5 Hz, 41,4 Hz, dan 48,3 Hz.

Berdasarkan diagram batang yang disajikan pada Gambar 14, terlihat bahwa pada setiap frekuensi eksitasi angin, konduktor dengan DVA B memiliki nilai reduksi respons getaran yang lebih tinggi daripada nilai reduksi dari konduktor dengan DVA lainnya. Hal ini bisa dilihat dari nilai reduksi masing-masing pada frekuensi eksitasi angin yaitu pada saat frekuensi operasional 27,6 Hz dapat meredam sebesar 54,9%, pada saat frekuensi operasional 34,5 Hz dapat meredam sebesar 5,9%, pada saat frekuensi operasional 41,4 Hz dapat meredam sebesar 77,1%, dan pada saat frekuensi operasional 48,3 Hz dapat meredam sebesar 3,3%. Variasi bentuk *counterweight* juga akan mempengaruhi gaya *lift* dan gaya *drag* yang terjadi saat peredam tereksitasi oleh angin. Selain konduktor dengan DVA B memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada variasi DVA lainnya, variasi ini juga memiliki gaya angkat yang lebih besar pula. Oleh karena itu, dengan bentuk yang berbeda akan menghasilkan respons perpindahan yang berbeda pula akibat gaya angin yang berpengaruh pada gaya *lift* dan gaya *drag*. Selain itu, semakin besar nilai kekakuan, maka akan semakin meredam getaran pada sistem utama karena memiliki jumlah *degree of freedom* yang lebih banyak.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu: (1) Penambahan *stockbridge damper* sebagai *dynamic vibration absorber* dengan variasi massa dan bentuk *counterweight* mempengaruhi respons getaran pada kabel konduktor dengan dapat mereduksi getaran yang terjadi. Terdapat variasi DVA yang tidak mampu mereduksi getaran yaitu variasi konduktor dengan DVA C pada frekuensi eksitasi angin 34,5 Hz dan variasi konduktor dengan DVA A5 pada frekuensi eksitasi angin 48,3 Hz. Variasi konduktor dengan DVA A4 merupakan variasi massa *counterweight* terbaik yang mampu mereduksi getaran dengan nilai reduksi tertinggi yaitu sebesar 80,4% pada frekuensi eksitasi angin 41,4 Hz. Sedangkan variasi konduktor dengan DVA B merupakan variasi bentuk *counterweight* yang paling optimal karena mampu mereduksi getaran pada seluruh frekuensi sumber getar yang digunakan pada penelitian ini, dengan nilai reduksi tertinggi sebesar 77,1% pada frekuensi eksitasi angin 41,4 Hz. Semakin besar kekakuan sistem, maka jangkauan redaman akan semakin luas dan amplitudo akan semakin menurun. (2) Desain *stockbridge damper* yang paling optimal untuk meredam getaran kabel di Indonesia pada rentang frekuensi sumber getar 25 Hz–51 Hz adalah konduktor dengan DVA B dengan $m_L = 1,54$ kg dan $m_R = 2,46$ kg. DVA variasi ini mampu bekerja paling optimal dalam meredam respons getaran karena memiliki daerah operasi stabil paling luas dan mampu mereduksi respons dinamis konduktor dengan baik pada setiap frekuensi eksitasi angin. Nilai reduksi yang diperoleh adalah 54,9% pada frekuensi 27,6 Hz, 5,9% pada frekuensi 34,5 Hz, 77,1% pada frekuensi 41,4 Hz, dan 3,3% pada frekuensi 48,3 Hz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Vaja, O. R. Barry, dan E. Y. Tanbour, "On the modeling and analysis of a vibration absorber for overhead powerlines with multiple resonant frequencies," *Eng. Struct.*, vol. 175, hal. 711–720, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.051>.
- [2] A. T. Nugraha dan Dadang Priyambodo, "Prototype hybrid power plant of solar panel and vertical wind turbine as a provider of alternative electrical energy at kenjeran beach Surabaya," *J. Electron. Electromed. Eng. Med. Informatics*, vol. 2, no. 3, hal. 103–108, Okt 2020, doi: 10.35882/jeeemi.v2i3.4.
- [3] J. Chan *et al.*, *EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion*, 2nd ed. Palo Alto, United States: Electric Power Research Institute, 2009.
- [4] O. Barry, "Finite Element Analysis of a Single Conductor with a Stockbridge Damper under Aeolian Vibration," Departemen Teknik Mesin, Ryerson University, 2010.