Analisis Gaya Pada *Hanger Shaft* "Suspensi Anting-Anting" Untuk Bogie Kereta Monorel Jenis *Straddle*

Gatot Prayogo[1,a*], Danardono A.S[1,b], Sugiharto[1,c] dan Riduan A.Siregar[1,d]

[1]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424, Jawa Barat, Indonesia

[a]gatot@eng.ui.ac.id, [b]danardon@eng.ui.ac.id, [c]sugih.sugiharto@unpas.ac.id,
[d]riduan.akbar.s@gmail.com,

Abstrak

Suspended coil spring suspension yang diistilahkan "suspensi anting-anting" merupakan jenis suspensi baru yang akan digunakan pada monorel jenis straddle yang saat ini sedang dikembangkan oleh sebuah industri lokal di Indonesia. Suspensi ini terdisri dari dua pasang pegas spiral dan peredam yang dipasang di sisi kiri dan kanan bogie yang berfungsi sebagai penumpu kabin penumpang. Suspensi dipasang dengan cara digantung pada *hanger shaft* oleh sebuah *linkage arm*. *Hanger shaft* merupakan komponen yang tidak boleh gagal sehingga dalam desainnya perlu dianalisis secara detail mulai dari analisis gaya, desain geometri, pemasangan, pemilihan material, pemilihan manufaktur, dan estimasi umur fatiknya. Dalam paper ini dibahas analisis gaya yang bekerja pada *hanger shaft* untuk berbagai kondisi jalan. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Simwise 4D*. Proses filterisasi data hasil analisis untuk mengubah nilai gaya dalam domain waktu menjadi nilai amplitudo spektrum dalam domain frekuensi menggunakan metoda transformasi Fourier dengan bantuan perangkat lunak *NumXL*. Hasil filterisasi dari nilai amplitudo spektrum dalam domain frekuensi kembali ditransformasikan ke nilai gaya dalam domain waktu dengan metode transformasi *inverse Fourier*. Hasil analisis ini merupakan data awal dalam yang akan digunakan dalam menentukan bentuk, ukuran, model pemasangan, pemilihan material, pemilihan proses manufaktur, dan estimasi umur fatik dari *hanger shaft* dalam analisis berikutnya.

Kata kunci : suspensi anting-anting, *hanger shaft*, bogie, monorel, *suspended*

Pendahuluan

Struktur yang bergerak mengalami eksitasi getaran yang berasal dari luar struktur. Sehingga sistem suspensi pada struktur umumnya didesain untuk dapat mereduksi efek amplitudo getaran dan menghilangkan frekuensi tinggi dari sumber eksitasi sampai dengan tingkatan yang dapat diterima. Gaya eksitasi dari getaran dapat berupa getaran harmonik dengan fungsi periodik maupun getaran dengan fungsi non periodik (acak). Karakteristik getaran pada sistem adalah getaran yang bersumber dari tumpuan struktur yang menjagi titik gaya eksitasi penyebab getaran, yang akan diredam oleh sistem suspensi yang digunakan.

Getaran paling besar yang diterima oleh struktur kendaraan berasal dari kontak antara kendaraan dengan jalan. Permukaan jalan yang memiliki profil tertentu memberikan eksitasi getaran pada struktur kendaraan, besarnya gaya yang terjadi sangat tergantung dari bentuk profil jalan dan kecepatan dari kendaraan saat melintasi profil tersebut.

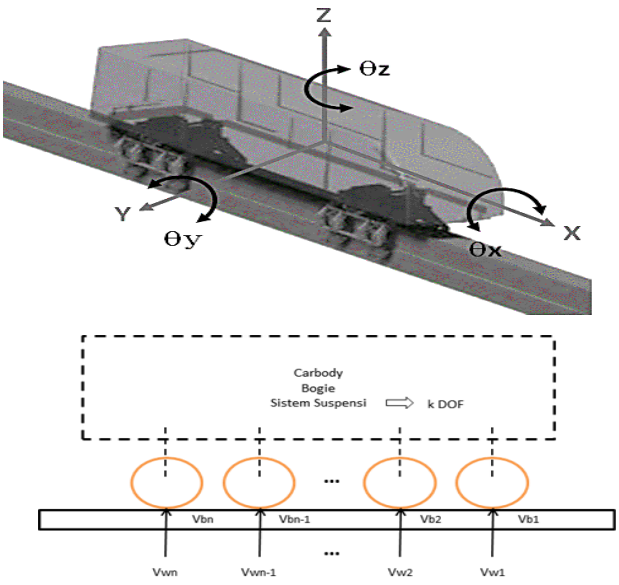
Tingkat keamanan dan kenyamanan sebuah monorel dapa diperoleh dari suatu pengujian yang yang dimulai dari evaluasi dinamik struktur monorel secara keseluruhan. Karakteristik dinamik sistem suspensi merupakan bagian paling penting yang menetukan stabilitas dinamik dari monorel.

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mengevaluasi karakteristik dinamik monorel yang ditinjau dari tingkat kenyamanan monorel saat melintas dilintasan baja dan lintasan beton dilakukan oleh *Lee, et al* [1] yang mengkaji efek kecepatan kereta, dan efek beban penumpang, yang dianalisis pada 1/3 *octave band spectral* berdasarkan standar ISO 2631. *Wu* dan *Yang* [2], mengkaji

pengaruh tipe kelas jalan rel terhadap tingkat kenyamanan kereta api pada kecepatan tinggi dengan menggunakan metode *Sperling ride index*. *Dumitriu* [3], mengkaji pengaruh dari rasio redaman sistem suspensi terhadap tingkat kenyamanan kereta api pada kecepatan tinggi dengan menggunakan metode *Sperling ride index*. *Sayaadi* dan *Shokouhi* [4], meneliti pengaruh peningkatan parameter suspensi pegas udara terhadap tingkat kenyamanan penumpang kereta api dengan menggunakan metode *Sperling ride index*.

Dalam paper ini monorel diidealisasikan memiliki 15 derajat kebebasan untuk untuk analisis respon dinamiknya. Sistem dinamik dari struktur kendaraan monorel yang digunakan mengadopsi hasil penelitian *Lie* dan *Liu* [5,6]. Dalam pemodelan, struktur kendaraan monorel terdiri dari *carbody* dengan dua bogie.

Pemodelan struktur monorel terdiri dari *carbody* dengan dua *bogie*. Massa dari *carbody* ditumpu oleh susunan pegas primer dan peredam (k_v dan c_v) yang terhubung langsung dengan bogie depan dan bogie belakang. Massa bogie ditumpu oleh roda traksi *(tractoin wheels)* dan dijepit oleh roda pengarah *(guide wheels)* dan roda penyeimbang *(stabilizing wheels)* pada kedua sisi *bogie* [7].



Gambar 27. Koordinat monorel

Struktur kendaraan monorel diasumsikan sebagai benda kaku *(rigid body)*. Massa dari *carbody* ditumpu oleh susunan pegas dan peredam yang terhubung langsung dengan bogie bagian depan dan bogie bagian belakang. Sedangkan massa bogie ditumpu oleh roda traksi dan dijepit oleh empat roda pengarah dan empat roda penyeimbang pada tiap struktur bogie. Struktur *carbody* dan bogie masing – masing memiliki 5 derajat kebebasan yang terdiri dari gerak arah vertikal (v_z), gerak arah lateral (v_y), gerak rotasi di sumbu longitudinal (θ_{Vx}), gerak rotasi di sumbu lateral (θ_{Vy}) dan gerak rotasi di sumbu vertikal (θ_{Vz}) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

Matriks sistem monorel ditunjukkan dengan vektor $\{q_v\}$ dimana tiap kontak roda yang terdiri dari n roda memiliki satu DOF sehingga kontak dari tiap roda yang direpresentasikan dengan vektor;

$$\{q_w\} = \{V_{w1}, V_{w2} \dots V_{wn}\}^T \qquad (1)$$

V_{wn} adalah vektor posisi gerak dari tiap kontak roda. Bersamaan dengan itu terdapat n titik kontak pada jalan yang direpresentasikan dengan vektor;

$$\{q_b\} = \{V_{b1}, V_{b2} \dots V_{bn}\}^T \qquad (2)$$

V_{bn} adalah sebagai vektor posisi jalan pada tiap kontak dengan roda. Jika $[M_v]$, $[c_v]$, dan $[k_v]$ secara berurutan adalah matriks massa, konstanta redaman dan konstanta kekakuan dari monorel, dan $\{d_v\}$ adalah vektor posisi dari monorel;

$$\{q_v\} = \{\{q_v\}\{q_w\}\}^T \qquad (3)$$

Maka bentuk persamaan gerak monorel secara umum dapat ditulis;

$$[\mathbf{M_v}]\{\ddot{\mathbf{q}}_\mathbf{v}\} + [\mathbf{c_v}]\{\dot{\mathbf{q}}_\mathbf{v}\} + [\mathbf{k_v}]\{\mathbf{q_v}\} = \{\mathbf{F_v}\} \qquad (4)$$

Dimana $\{F_v\}$ adalah vektor gaya yang terdiri dari gaya eksternal dan gaya interaksi antara roda monorel dengan lintasannya.

Persamaan gerak dari lintasan yang akan dilalui oleh monorel dimana dalam analisis ini digunakan metode elemen hingga,

lintasan *(guideway)* yang dibani monorel yang sedang melintas diasumsikan sebagai batang kaku dengan tumpuan tetap, persamaan gerak dari lintasan adalah;

$$m_b\ddot{\Delta}_b + c_T\dot{\Delta}_b + k_T\Delta_b = F_T(t) \qquad (5)$$

Dimana m_T adalah massa lintasan, c_T adalah konstanta peredaman, k_T adalah konstanta kekakuan dan $F_T(t)$ adalah gaya interaksi antara monorel degan lintasan, sedangkan $\ddot{\Delta}_T$, $\dot{\Delta}_T$ dan Δ_T adalah vektor percepatan, kecepatan dan perpindahan yang terjadi pada struktur lintasan.

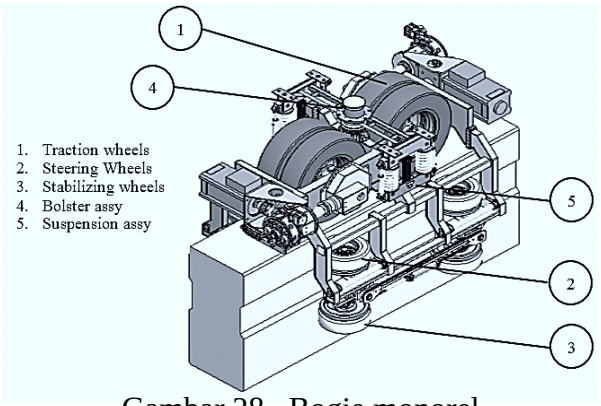
Persamaan (4) setelah digabung dengan persamaan (5) jika ditulis dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut;

$$\begin{bmatrix} M_b & 0 \\ Symm & M_v \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{q} \\ \ddot{\Delta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_b & C_{bv} \\ Symm & C_v \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\Delta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_b & K_{bv} \\ Symm & K_v \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} q \\ \Delta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_b \\ f_v \end{Bmatrix} \qquad (6)$$

indek b notasi yang mendefinisikan lintasan, v notasi yang mendefinisikan kereta monorel *(vehicle)*, sedangkan indek bv notasi yang mendefinisikan interaksi monorel dengan lintasannya.

Suspensi Anting-anting

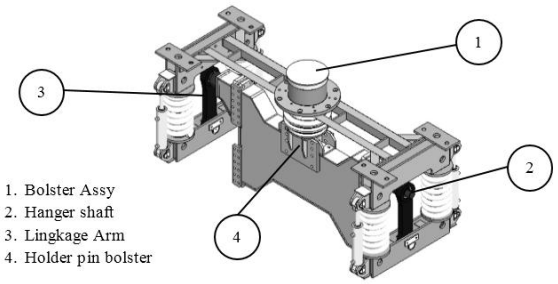
Suspensi yang digunakan merupakan suspensi jenis baru untuk monorel jenis straddle yaitu dengan menggunakan jenis suspended coil spring suspension.



Gambar 28. Bogie monorel

Suspensi yang digunakan sebagai penumpu kabin penumpang, terdiri dari dua pasang pegas spiral dan peredam yang dipasang disisi kiri dan kanan bogie. Suspensi disisi kiri dan kanan disatukan dengan frame unit bolster sebagai pengendali gerakan antara suspensi kiri dan kanan. Supensi dipasang pada frame bogie dengana cara digantung oleh lingkage arm pada hanger shaft yang ditanam pada main frame bogie.

Frame unit bolster yang dipasang diatara suspensi disisi kiri dan kanan bogie ditumpu oleh pin bolster yang bisa mengendalikan gerak vertikal, *rolling*, *piching*, dan *yawing* dari suspensi yang digunakan.



Gambar 29. suspensi anting-anting

Metodologi

Simulasi untuk melihat prilaku kerja komponen *(multibody)* saat ini dilakukan dengan bantuan erangkat lunak Simwise 4D, motode dinamika benda jamak *(multibody)* yang digunakan oleh perangkat lunak ini dimana setiap komponen pendukung didefinisikan mulai dari ukuran geometri, jenis material, jenis sambungan antar komponen, gaya luar, sistem penggerak dan model kontak antara roda dengan lintasanya.

Tabel 5**.** Parameter dinamik struktur monorel [8]

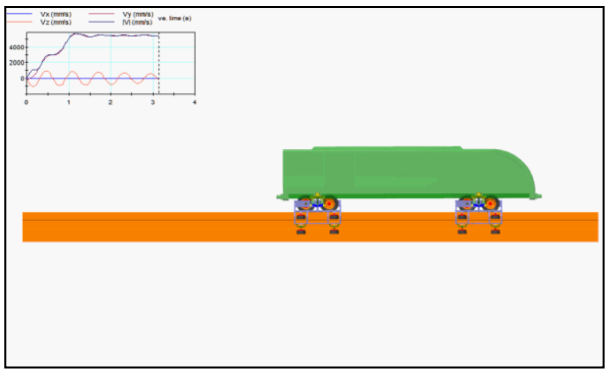
No	Parameter	Simbol	Nilai
1.	**Massa (kg)**		
	Massa *carbody (full load)*	m_{V1}	20000
	Massa *bogie*	m_{V2}, m_{V3}	2100
2.	**Konstanta pegas (N/m)**		
	Bogie ke *carbody* (vertikal)	k_{Vv1}	268200
	Roda traksi, roda pengarah dan roda penyeimbang	k_{Vv2}	100000
3.	**Konstanta peredaman (Ns/m)**		
	Bogie ke *carbody* (vertikal)	c_{Vv1}	25984
	Roda traksi, roda pengarah dan roda penyeimbang	c_{Vv2}	300

Parameter dinamik dari struktur kendaraan monorel yang dijadikan masukan adalah nilai massa dan nilai kekakuan pegas dan redaman dari struktur kendaraan monorel, yang nilainya sesuai dengan desain kriteria konstruksi monorel UTM 125 dari PT. MBW [8]. Nilai parameter dinamik struktur kendaraan monorel ditunjukkan dalam tabel 1. Sifat mekanik material struktur monorel berikut lintasannya, ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 6. Karakteristik material struktur monorel dan lintasannya [8]

Jenis Material	mass density (kg/m^3)	Elastic Modulus (MPa)	Poison Ratio	Tensile Strength (MPa)
Steel				
G 3101; SS 400	7850	1,90E+05	0,26	400
G 3106; SM 490 B	7860	2,10E+05	0,28	490
G 4105; S 45 C	8030	2,10E+05	0,28	750
Natural Rubber	950	154	0,5	32
Portland Concrete	2400	4,10E+04	0,2	5

Alignment dari jalur monorel yang disimulasikan dalam penelitian ini memiliki lebar track sebesar 750 mm dan terdiri dari jalur lurus, jalur lengkung dengan radius 60 meter, jalur menanjak dan menurun dengan gradient 5 % dengan panjang total jalur mencapai 6,86 km. Dalam simulasi waktu integrasi yang digunakan untuk setiap perpindahan posisi adalah 0,02 s dengan toleransi kesalahan dalam setiap perpindahan posisi sebesar 0,0001 m.

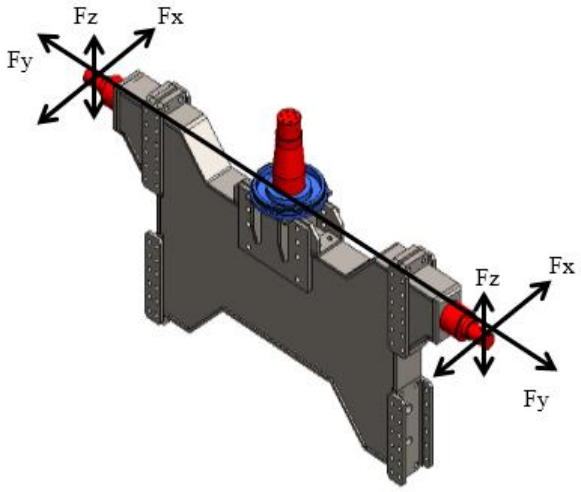


Gambar 30. Simulasi dinamik monorel dengan menggunakan program Simwise 4D

Nilai respon dinamik berupa vektor percepatan dan gaya yang merupakan fungsi waktu kemudian dianalisa dan difilter dengan menggunakan metoda transformasi *Fourier* dengan bantuan perangkat lunak *NumXL* untuk mengubah nilai vektor percepatan dan gaya dalam domain waktu menjadi nilai amplitudo spektrum dalam domain frekuensi.

Hasil filterisasi dari nilai amplitudo spektrum dalam domain frekuensi ditransformasikan kembali ke nilai vektor percepatan dan gaya dalam domain waktu dengan metode transformasi *inverse Fourier*.

Vektor gaya dari struktur bogie yang dianalisis adalah gaya yang terjadi pada komponen kritis yang dapat dikatakan tidak boleh gagal, salah satu komponen tersebut adalah hanger shaft yang berfungsi sebagai tunpuan suspensi. Vektor gaya dihitung pada saat kendaraan monorel mulai bergerak dari keadaan diam dengan percepatan rata-rata sebesar 0,83 m/s^2 sampai dengan mencapai kondisi kecepatan puncak, kemudian kecepatan monorel diperlambat dengan perlambatan rata-rata sebesar 1,25 m/s^2 sampai dengan kondisi monorel berhenti. Kecepatan puncak monorel yang dianalisis adalah pada kecepatan 40 km/jam, 50 km/jam dan 60 km/jam.



Gambar 31. Arah vektor gaya pada hanger shaft

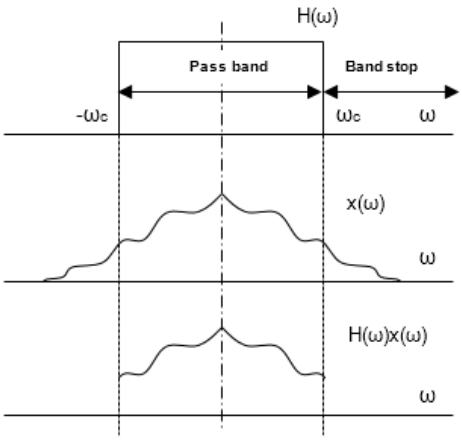
Fx adalah vektor gaya dalam arah longitudinal, Fy arah vektor gaya dalam arah lateral dan Fz arah vektor gaya dalam arah vertikal.

Vektor gaya dari hasil simulasi kemudian diseleksi berdasarkan kriteria frekuensi yang ditentukan. Proses seleksi ini

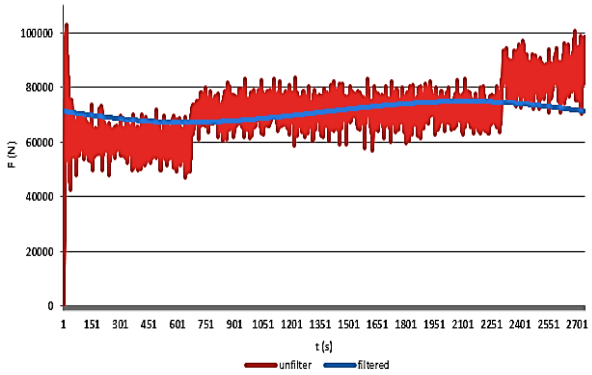
disebut juga sebagai proses filterisasi. Dalam aplikasinya filter digunakan untuk membatasi sinyal pada frekuensi tertentu untuk mendapatkan sinyal baru dengan bentuk gelombang yang berbeda. Jenis filter yang digunakan dalam pengolahan sinyal vektor gaya adalah *low-pass filter*. Dimana karakteristik dari filter jenis ini adalah melewatkan seluruh sinyal mulai dari frekuensi nol sampai dengan frekuensi yang dibatasi dan membuang seluruh sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi batasnya. Frekuensi pembatas dalam istilah low pass filter disebut *cut-off frequency* (ω_c), rentang daerah yang dapat dilewati oleh sinyal tersebut disebut *pass-band* dan daerah diluarnya disebut *band-stop*.

Nilai ω_c yang digunakan dalam analisis vektor gaya sama dengan nilai ω_0 atau nilai frekuensi fundamental dari sinyal dalam keseluruhan periode gelombang untuk mempermudah proses perhitungan analisis tegangan dan fatik karena pada frekuensi ini gelombang dari sinyal vektor gaya yang dihasilkan memiliki bentuk gelombang sinusoidal atau cosinusoidal murni sehingga nilai puncak dari amplitudo sinyal dapat didefinisikan dengan mudah.

Skema *low pass filter* dalam menyeleksi atau mereduksi sinyal gelombang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 32. Skema *low-pass filter* dalam mereduksi frekuensi sinyal



Gambar 33. Perbandingan sinyal vektor gaya setelah aplikasi *low-pass filter*

Secara matematis fungsi dari *low-pass filter* pada sinyal spektrum frekuensi dapat dirumuskan sebagai berikut

$$H(\omega) = \sqrt{\frac{\omega_c^n}{\omega_c^n + k\omega_0^n}} \qquad (7)$$

n adalah orde dari fungsi *low-pass filter*. Semakin tinggi orde fungsi maka semakin rapat daerah yang dapat dilalui oleh sinyal pada ω_c, k adalah bilangan integer yang dievaluasi setiap rentang ω_0. Perbandingan bentuk sinyal pada aplikasi *low-pass filter* ditunjukkan pada gambar 7.

Hasil dan Diskusi

Dari hasil simulasi gerak kendaraan monorel dengan menggunakan perangkat lunak Simwise4D diperoleh data respon dinamik berupa gaya – gaya yang terjadi di komponen bogie, yaitu pada *axle shaft* roda traksi, *pin bolster*, *hanger shaft* suspensi dan *axle shaft* roda pengarah dan penyeimbang.

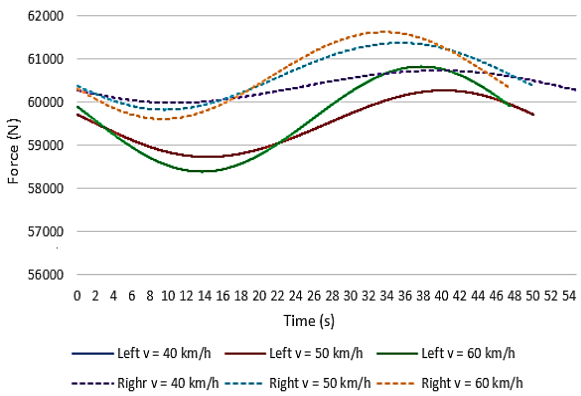
Gaya pembebaban pada tiap komponen yang dianalisis diperoleh dari hasil simulasi berupa data gaya pembebanan yang merupakan data pembebanan fungsi waktu, data tersebut selanjutnya ditransformasikan ke dalam fungsi frekuensi dengan menggunakan metode transformasi *Fourier*.

Respon frekuensi dari amplitudo gaya fungsi frekuensi ini dikalikan dengan fungsi transfer *low-pass filtering* pada nilai *fundamental cut-off frequency* sehingga menghasilkan produk sinyal dengan bentuk gelombang yang dihasilkan dari fungsi

penjumlahan nilai amplitudo konstan (a_0) dan nilai amplitudo pada fungsi frekuensi fundamental ($a_1 e^{f_0 t}$). Selanjutnya ditransformasikan kembali ke dalam fungsi waktu dengan metode transformasi *invers Fourier*.

Berdasarkan tahapan proses transformasi dan aplikasi fungsi transfer dari hasil simulasi gerak kendaraan monorel pada kecepatan 40 km/jam, 50 km/jam dan 60 km/jam didapatkan data respon dinamik berupa gaya longitudinal dan lateral yang terjadi di *hanger shaft* suspensi sisi kanan dan sisi kiri diketahui bahwa amplitudo gaya longitudinal dan vertikal paling besar terjadi pada saat akselerasi dan deselerasi, dimana besarnya gaya longitudinal yang terjadi berbanding lurus terhadap besarnya kecepatan dan perubahan kecepatan. dimana besarnya gaya longitudinal yang terjadi berbanding lurus terhadap besarnya kecepatan dan perubahan kecepatan.

Gaya pada *hanger shaft* dalam arah longitudinal, maksimum terjadi saat pada kondisi deselerasi dengan kecepatan 60 km/jam. Dimana gaya paling besar terjadi pada *hanger shaft* suspensi kanan dengan besar gaya adalah 61,63 kN, sedangkan pada *hanger shaft* suspensi kiri besar gaya yang terjadi adalah 60,83 kN. Besat gaya longitudinal yang terjadi di kedua *hanger shaft* suspensi pada kecepatan tersebut di atas ditunjukkan pada gambar 8.

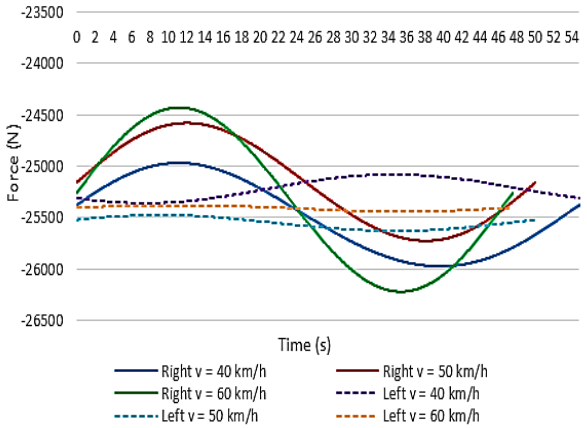


Gambar 34. Gaya longitudinal di kedua sisi *hanger shaft* suspensi

Pada kondisi akselerasi gaya pada *hanger shaft* dalam arah vertikal, maksimum terjadi sebesar 24,43 kN, sedangkan pada kondisi deselerasi maksimum terjadi sebesar 26,22 kN.

Pada *hanger shaft* suspensi kiri, pada kecepatan 60 km/jam pada kondisi akselerasi, gaya vertikal maksimum terjadi sebesar 25,38 kN, sedangkan pada kondisi deselerasi terjadi sebesar 25,44 kN. Kondisi serupa terjadi pada simulasi dengan kecepatan 40 km/jam dan 50 km/jam.

Perbedaan gaya besar vertikal yang terjadi pada *hanger shaft* suspensi kiri dan kanan pada saat akselerasi dan deselerasi menunjukkan terjadinya gerakan *rolling* pada struktur badan kendaraan monorel, dimana semakin besar perbedaan perbandingan gaya vertikal yang terjadi, maka gerak *rolling* akan semakin besar. Sebaliknya jika perbedaan gaya vertikal yang terjadi memiliki nilai yang hampir sama, maka gerakan *rolling* yang terjadi pada struktur badan kendaraan monorel cenderung minimum. Besar gaya vertikal yang terjadi pada *hanger shaft* suspensi ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 35. Gaya vertikal di kedua sisi hanger shaft suspensi

Kesimpulan

Dari hasil analisis gaya yang terjadi pada hanger shaft yang dilakukan secara numerik dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Gaya pada *hanger shaft* dalam arah longitudinal, gaya maksimum terjadi

adalah saat pada kondisi deselerasi pada kecepatan 60 km/jam. Gaya paling besar terjadi pada *hanger shaft* suspensi kanan dengan besar gaya sebesar 61,63 kN, sedangkan pada suspensi kiri terjadi terjadi 60,83 kN.

- Gaya pada *hanger shaft* dalam arah vertikal, terjadi pada kondisi akselerasi pada kecepatan 60 km/jam. Pada *hanger shaft* suspensi kanan gaya vertikal maksimum yang terjadi sebesar 24,43 kN, sedangkan pada kondisi deselerasi gaya vertikal maksimum terjadi sebesar 26,22 kN. Pada *hanger shaft* sespensi kiri, gaya vertikal maksimum terjadi sebesar 25,38 kN, pada kondisi deselerasi adalah 25,44 kN.
- Pada kecepatan 40 km/jam dan 50 km/jam, perbedaan gaya vertikal yang terjadi antara *hanger shaft* pada saat akselerasi dan deselerasi menunjukkan terjadinya gerakan *rolling* pada struktur badan monorel, dimana semakin besar perbedaan perbandingan gaya vertikal yang terjadi, maka gerak *rolling* akan semakin besar. Sebaliknya jika perbandingan gaya vertikal yang terjadi memiliki nilai yang hampir sama, maka gerakan *rolling* yang terjadi pada struktur badan kendaraan monorel cenderung kecil.

Ucapan Terimaksih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian pada Masyarakat (DRPM) Universitas Indonesia, PT. Melu Bangun Wiweka (MBW) dan DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan RI yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Riset Andalan Perguruan Tinggi (RAPID) tahun 2015.

Referensi

[1] Lee, C.H., et .all *"Dynamic response analysis of monorail bridges under moving trains and riding comfort trains",* Engineering Structures, 27, p1999-2013., 2005

[2] Yang, Y.B., and Wu, Y.S. , *"Steady-state response and riding comfort of trains moving over a series of simply supported bridges",* Engineering Structures, 25, p.452-469, 2005

[3] Dumitriu, M., *"Influence of the suspension damping on ride comfort of passenger railway vehicles"*, U.P.B. Science Bulletin,Series D, Vol. 74, Issue 4, 2003

[4] Sayyaadi, H., and Shokouhi, N., *"Improvement of passengers ride comfort in rail vehicles equipped with air springs",* World Academy of Science, Engineering and Technology,53, 2012

[5] Lei, X., and Noda, N. A. , *"Analyses of dynamic response of vehicle and jalan coupling system with random irregularity of track vertical profile",* Journal of Sound and Vibration, p.147-165., 2002

[6] Liu, K., Reynders, E., et.all *," The effect of dynamic train-bridge interaction on the bridge response during a train passage",* . Journal of Sound and Vibration, p.240-251.,2009

[7] Prayogo, G., dkk , "Perancangan dan Pengembangan Bogie Monorel: Analisa Respon Dinamik dan Tingkat Kenyamanan". Proceeding SNTTM XIII p.132-142., 2014

[8] PT. Melu Bangun Wiweka. "*Design Criteria of Civil Construction of Monorail UTM-125 Guideway"*. PT. Melu Bangun Wiweka, Bekasi, Indonesia, 2011