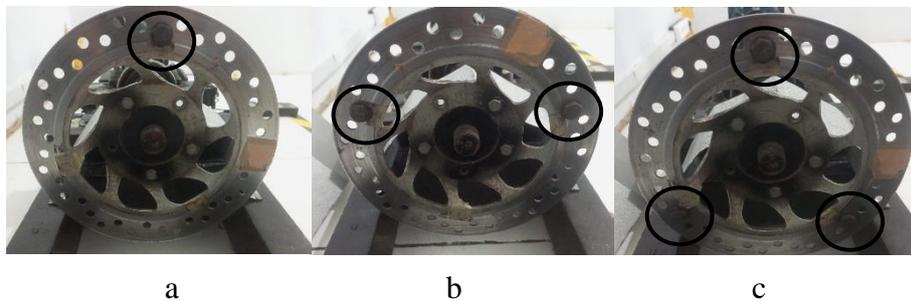


## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

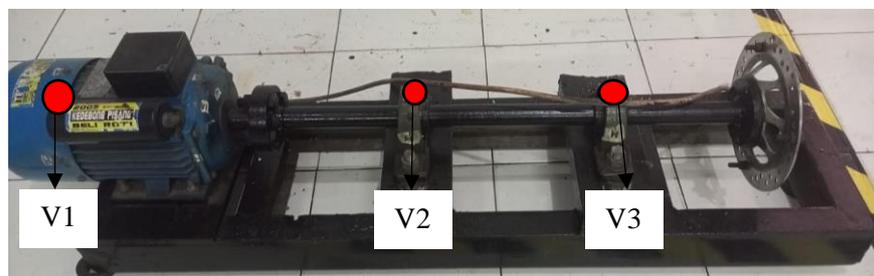
#### 4.1 Deskripsi Umum Pengujian

Pengujian getaran dilakukan pada sistem mesin berputar menggunakan dua jenis alat ukur, yaitu *Vibration Meter* Lutron VB-8200 dan sistem *Modal Analysis* berbasis *Simcenter Testlab* dengan LMS SCADAS. Mesin yang diuji adalah motor listrik berputar yang dikonfigurasi dengan cakram logam pada porosnya sebagai media pemasangan beban tambahan yang dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut;



**Gambar 4. 1** Pemasangan Baut Pada Cakram a) 1 Baut, b) 2 Baut c) 3 Baut

Pembebanan dilakukan dengan memasang baut pada cakram dalam tiga variasi: satu baut (0.205 N), dua baut (0.402 N), dan tiga baut (0.598 N), yang bertujuan menciptakan ketidakseimbangan massa (*unbalance*). Setiap variasi beban diuji pada tiga level kecepatan motor, dan pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda (V1: motor, V2: bantalan 1, V3: bantalan 2). Mesin putar dapat dilihat **gambar 4.2** dibawah ini sebagai berikut;



**Gambar 4. 2** Mesin Motor Putar

Pengambilan data menggunakan *Vibration Meter* dilakukan secara langsung dan *real-time*, mencatat nilai akselerasi, kecepatan getaran, dan frekuensi. Sementara itu, *Modal Analysis* dilakukan dengan menggunakan akselerometer, yang dianalisis melalui perangkat lunak untuk memperoleh respons dinamis dalam domain waktu dan frekuensi.

## 4.2 Data Hasil Pengujian

Berikut ini data hasil pengujian yang dapat dilihat sebagai berikut

### 4.2.1 Data Baseline (Tanpa Pembebanan)

Berisi data hasil pengukuran getaran (*Vibration Meter & Modal Analysis*) pada kondisi tanpa pembebanan.

Pengujian awal dilakukan tanpa pembebanan guna memperoleh data baseline sebagai acuan dalam mengevaluasi pengaruh pembebanan terhadap respon getaran sistem. Data baseline ini diperoleh dari tiga titik pengukuran utama, yaitu V1, V2, dan V3, pada tiga variasi kecepatan putaran motor: 1500 RPM, 1700 RPM, dan 1900 RPM. Pengambilan data dilakukan menggunakan dua metode utama, yaitu *Vibration Meter* dan *Modal Analysis*, yang masing-masing memiliki karakteristik pengukuran tersendiri.

Data ini digunakan sebagai acuan pembandingan terhadap pengujian dengan variasi beban. Dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut;

**Tabel 4.1** Hasil Pengukuran Menggunakan *Vibration Meter* (Baseline)

DATA WORKSHEET VIBRATION METER (BASELINE)							
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi (Hz)	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)	Persentase Error (%)
V1	1 (1500 RPM)	0	73.5	14.1	0.894	0.830	7.76
V1	2 (1700 RPM)	0	72	15.1	0.92	0.759	21.23
V1	3 (1900 RPM)	0	69	13.8	0.875	0.796	9.96
V2	1 (1500 RPM)	0	72	13.5	0.889	0.849	4.73
V2	2 (1700 RPM)	0	70.5	14.1	0.935	0.796	17.50
V2	3 (1900 RPM)	0	68	12.9	0.86	0.839	2.51
V3	1 (1500 RPM)	0	73	13.8	0.91	0.842	8.09
V3	2 (1700 RPM)	0	71.5	14.9	0.96	0.764	25.70
V3	3 (1900 RPM)	0	70	13.1	0.899	0.850	5.71

Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 4.1, menggunakan *Vibration Meter*, frekuensi alami yang terekam pada kondisi tanpa beban menunjukkan nilai yang relatif stabil pada setiap titik pengukuran. Pada titik V1, frekuensi yang tercatat adalah 73.5 Hz pada 1500 RPM, menurun menjadi 72 Hz pada 1700 RPM, dan kembali turun menjadi 69 Hz pada

1900 RPM. Pola serupa juga tampak pada titik V2, dengan frekuensi sebesar 72 Hz, 70.5 Hz, dan 68 Hz masing-masing pada 1500 RPM, 1700 RPM, dan 1900 RPM. Sedangkan pada titik V3, frekuensi berada pada 73 Hz untuk 1500 RPM, 71.5 Hz untuk 1700 RPM, dan 70 Hz untuk 1900 RPM. Penurunan frekuensi yang terjadi seiring peningkatan kecepatan putar dapat mengindikasikan adanya pengaruh dari perubahan kekakuan dinamis sistem atau efek getaran yang meningkat akibat gaya sentrifugal.

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Menggunakan *Modal Analysis (Baseline)*

DATA WORKSHEET MODAL ANALYSIS (BASELINE)							
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi (Hz)	Akselerasi (m/s <sup>2</sup> )	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)	Persentase Error (%)
V1	1 (1500 RPM)	0	75	14.6	0.778	0.804	3.29
V1	2 (1700 RPM)	0	74	14.9	0.76	0.801	5.13
V1	3 (1900 RPM)	0	73	14.4	0.738	0.786	6.11
V2	1 (1500 RPM)	0	71.5	6	1.188	1.198	0.84
V2	2 (1700 RPM)	0	70	6.3	1.21	1.18	2.54
V2	3 (1900 RPM)	0	66	5.5	1.16	1.13	2.65
V3	1 (1500 RPM)	0	74	3.2	2.91	2.85	2.11
V3	2 (1700 RPM)	0	72	3	2.85	2.82	1.06
V3	3 (1900 RPM)	0	70	4.3	3	3.02	0.66

Sedangkan pada tabel 4.2, hasil pengukuran dengan menggunakan metode *Modal Analysis* menunjukkan kecenderungan nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Vibration Meter*. Hal ini disebabkan oleh metode *Modal Analysis* yang mengandalkan eksitasi struktur untuk mendapatkan respon dinamisnya, sehingga mampu mengidentifikasi frekuensi alami sistem secara lebih menyeluruh. Pada titik V1, frekuensi yang terukur adalah 75 Hz pada 1500 RPM, 74 Hz pada 1700 RPM, dan 73 Hz pada 1900 RPM. Di titik V2, frekuensi menurun cukup signifikan, dari 71.5 Hz pada 1500 RPM menjadi 70 Hz pada 1700 RPM, dan turun lagi menjadi 66 Hz pada 1900 RPM. Pada titik V3, frekuensi yang terekam adalah 74 Hz, 72 Hz, dan 70 Hz untuk masing-masing kecepatan berturut-turut.

Secara umum, baik dari hasil pengukuran *Vibration Meter* maupun *Modal Analysis*, terlihat pola bahwa frekuensi alami cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan rotasi. Penurunan frekuensi ini menunjukkan bahwa sistem mulai mengalami perubahan karakteristik dinamis meskipun belum dibebani secara eksternal. Data baseline ini penting untuk dianalisis lebih lanjut, karena akan menjadi tolok ukur

terhadap data kondisi berbeban. Dengan membandingkan data baseline dan data berbeban, dapat dianalisis sejauh mana beban mempengaruhi respons getaran, kestabilan sistem, serta potensi resonansi yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, data baseline ini berfungsi sebagai referensi fundamental dalam keseluruhan rangkaian analisis eksperimental pada penelitian ini.

### 4.3 Hasil Pengukuran Menggunakan *Vibration Meter*

Subbab ini menjelaskan hasil pengukuran getaran menggunakan *Vibration Meter*, yaitu alat portabel yang secara langsung mencatat besarnya getaran dalam bentuk frekuensi. Pengukuran dilakukan pada kondisi mesin berputar dengan variasi pembebanan untuk melihat dampaknya terhadap respons getaran.

**Tabel 4.3** Hasil Pengukuran Menggunakan *Vibration Meter*

#### 4.3.1 Pengukuran Data Akselerasi pada Tiap Titik Pengukuran – *Vibration Meter*

Pengukuran akselerasi getaran dilakukan menggunakan alat *Vibration Meter type Lutron VB-8200* yang disetel pada mode *Accelerate (ACC)*. Dalam mode ini, alat memberikan keluaran berupa nilai akselerasi RMS dalam satuan  $m/s^2$ . Berikut ini dapat dilihat hasil pengukuran akselerasi dibawah ini sebagai berikut;

**Tabel 4.4** Hasil Pengukuran Akselerasi Menggunakan *Vibration Meter*

Hasil Pengukuran Frekuensi Menggunakan <i>Vibration Meter</i>			
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi (Hz)
V1	1 (1500 RPM)	0.205	77
		0.402	74.08
		0.598	76.01
	2 (1700 RPM)	0.205	75
		0.402	74
		0.598	71
	3 (1900 RPM)	0.205	78
		0.402	60
		0.598	69.6
V2	1 (1500 RPM)	0.205	50.2
		0.402	75
		0.598	73.4
	2 (1700 RPM)	0.205	77
		0.402	74.2
		0.598	77
	3 (1900 RPM)	0.205	77
		0.402	60.95
		0.598	63.5
V3	1 (1500 RPM)	0.205	79.01
		0.402	77
		0.598	73.29
	2 (1700 RPM)	0.205	77
		0.402	60.6
		0.598	76.6
	3 (1900 RPM)	0.205	76.4
		0.402	79.29
		0.598	89.02

VIBRATION METER	TITIK V1			
	Kecepatan	Akselerasi		
		Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
	1 (1500 RPM)	15.05	15.06	15.15
	2 (1700 RPM)	15.80	15.90	16.01
	3 (1900 RPM)	15.30	15.30	15.40
	TITIK V2			
	Kecepatan	Akselerasi		
		Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
	1 (1500 RPM)	7.12	7.14	7.28
	2 (1700 RPM)	6.50	6.70	7.20
	3 (1900 RPM)	6.70	6.83	7.09
	TITIK V3			
	Kecepatan	Akselerasi		
		Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
	1 (1500 RPM)	3.40	3.65	3.99
2 (1700 RPM)	3.70	3.99	4.30	
3 (1900 RPM)	4.10	4.34	4.56	

Sensor ditempatkan secara langsung pada permukaan mesin berputar di tiga titik pengukuran, yaitu:

1. Titik V1: Pada bodi motor
2. Titik V2: Pada bantalan pertama (*bearing 1*)
3. Titik V3: Pada bantalan kedua (*bearing 2*)

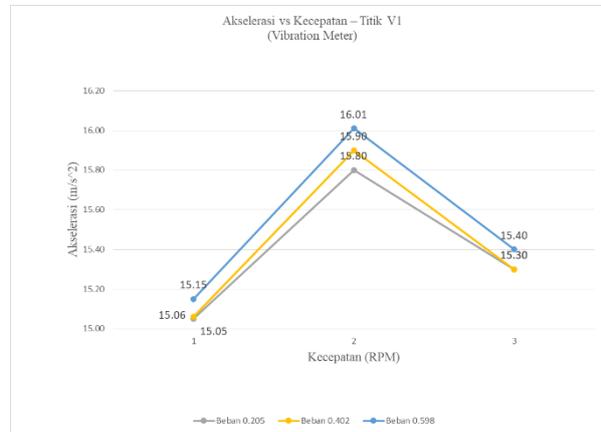
Setiap titik diuji pada tiga level kecepatan yang berbeda (1, 2, dan 3), dan setiap kecepatan dikombinasikan dengan tiga kondisi pembebanan, yaitu beban 0.205 N, 0.402 N, dan 0.598 N.

Hasil pengukuran akselerasi secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Titik V1 menghasilkan nilai akselerasi tertinggi secara konsisten pada semua level kecepatan dan pembebanan. Hal ini wajar karena titik ini terletak langsung pada bodi motor, yang merupakan sumber utama getaran. Titik V2 menunjukkan nilai akselerasi sedang, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya beban dan kecepatan. Titik V3 memiliki nilai akselerasi paling rendah, namun juga menunjukkan kenaikan seiring peningkatan kecepatan dan pembebanan.

Pola umum yang diamati adalah bahwa peningkatan kecepatan dan beban memberikan kontribusi terhadap peningkatan akselerasi getaran,

yang mengindikasikan adanya peningkatan energi dinamis dalam sistem.

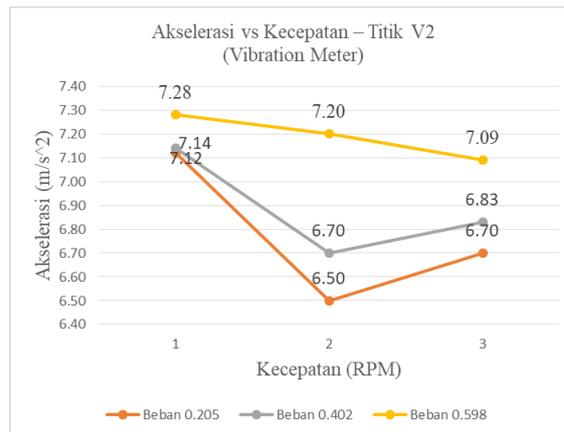
Berikut juga dapat terdapat perbandingan yang dibuat dengan tujuan untuk dapat mudah divisualisasikan sebagai berikut:



**Gambar 4. 3** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V1 (*Vibration Meter*)

Pada Titik V1, tren akselerasi menunjukkan pola menaik dari kecepatan 1 ke kecepatan 2, lalu menurun kembali pada kecepatan 3 untuk semua variasi beban. Pada kecepatan 1, nilai akselerasi berada di kisaran 15.05 – 15.15 m/s<sup>2</sup>, kemudian meningkat secara signifikan pada kecepatan 2 hingga mencapai nilai tertinggi yaitu 16.01 m/s<sup>2</sup> untuk beban 0.598 N. Selanjutnya, nilai akselerasi menurun pada kecepatan 3, dengan nilai tertinggi sebesar 15.40 m/s<sup>2</sup> pada beban 0.598 N.

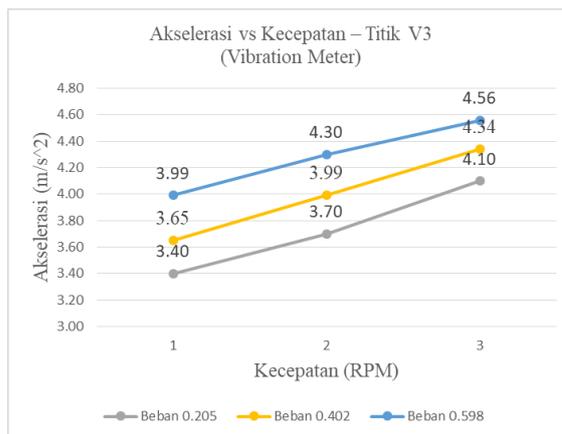
Pola ini menunjukkan bahwa pada Titik V1, sistem mengalami resonansi parsial atau semi-resonansi pada kecepatan 2, di mana gaya dinamis yang dihasilkan akibat beban dan kecepatan mencapai nilai maksimum akselerasi. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur pada titik ini sensitif terhadap variasi kecepatan pada rentang tertentu.



**Gambar 4. 4** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V2 (*Vibration Meter*)

Berikutnya, Titik Pengukuran V2 berbeda dengan Titik V1, pada Titik V2 grafik menunjukkan penurunan akselerasi saat kecepatan meningkat dari 1 ke 2, kemudian stabil atau sedikit naik saat kecepatan dinaikkan ke 3. Pada kecepatan 1, nilai akselerasi berada dalam kisaran 7.12 – 7.28 m/s<sup>2</sup>, lalu menurun tajam pada kecepatan 2 menjadi nilai terendah sebesar 6.50 m/s<sup>2</sup> pada beban 0.205 N. Sementara itu, pada kecepatan 3, terjadi peningkatan kecil pada semua beban, dengan nilai tertinggi sebesar 7.09 m/s<sup>2</sup>.

Pola ini mengindikasikan bahwa pada Titik V2 tidak terjadi resonansi yang signifikan. Penurunan akselerasi di kecepatan 2 dapat disebabkan oleh karakteristik dinamis struktur di titik tersebut, seperti kekakuan lokal atau adanya redaman yang lebih besar dibandingkan titik lainnya. Dengan demikian, titik V2 dapat dikatakan memiliki respons dinamis yang lebih teredam dan stabil terhadap perubahan kecepatan dibandingkan Titik V1.



**Gambar 4.5** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V3 (*Vibration Meter*)

Serta terakhir, titik Pengukuran V3 menunjukkan tren akselerasi yang konsisten meningkat terhadap peningkatan kecepatan pada seluruh variasi beban. Nilai akselerasi pada kecepatan 1 berada di kisaran 3.40 – 3.99 m/s<sup>2</sup>, meningkat menjadi 3.70 – 4.30 m/s<sup>2</sup> pada kecepatan 2, dan mencapai puncaknya pada kecepatan 3 dengan nilai hingga 4.56 m/s<sup>2</sup> pada beban 0.598 N.

Kenaikan akselerasi yang stabil ini menunjukkan bahwa struktur pada titik V3 berperilaku linier, di mana peningkatan kecepatan dan beban menyebabkan peningkatan proporsional pada akselerasi. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur pada titik V3 memiliki kekakuan yang relatif tinggi dengan sedikit redaman, dan belum mencapai kondisi resonansi pada ketiga variasi kecepatan yang diuji.

#### 4.3.2 Pengukuran pada Kecepatan Getaran (*Velocity*) – *Vibration Meter*

Pengukuran kecepatan getaran (*Velocity*) merupakan salah satu parameter penting dalam menganalisis kondisi dinamis mesin berputar. *Velocity* mencerminkan seberapa cepat pergerakan osilasi pada permukaan mesin akibat getaran, biasanya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s). Pengukuran dilakukan menggunakan *Vibration Meter* Lutron VB-8200 yang disetel pada mode *Velocity*, sehingga alat secara langsung menampilkan nilai kecepatan getaran RMS.

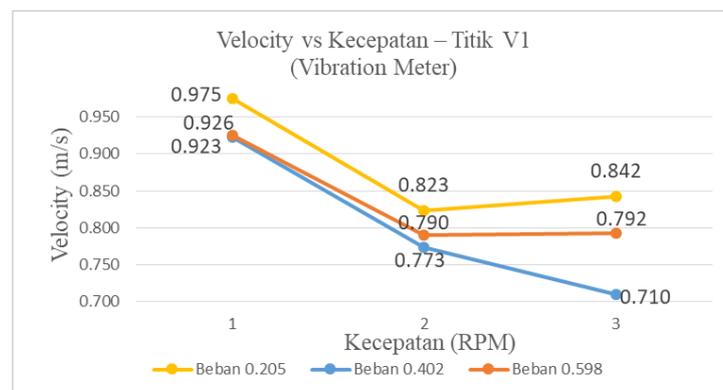
Sensor diletakkan di tiga titik utama, yaitu V1 (motor), V2 (bantalan pertama), dan V3 (bantalan kedua). Setiap titik diuji pada tiga level

kecepatan motor dan tiga kondisi pembebanan, yaitu beban 0.205 N, 0.402 N, dan 0.598 N. Data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran Kecepatan Getaran Menggunakan *Vibration Meter*

VIBRATION METER			
TITIK V1			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	0.975	0.923	0.926
2 (1700)	0.823	0.773	0.790
3 (1900)	0.842	0.710	0.792
TITIK V2			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	0.996	0.729	1.690
2 (1700)	1.990	1.982	1.795
3 (1900)	1.890	1.530	1.510
TITIK V3			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	3.890	3.452	3.203
2 (1700)	3.420	2.903	2.903
3 (1900)	3.103	3.125	3.203

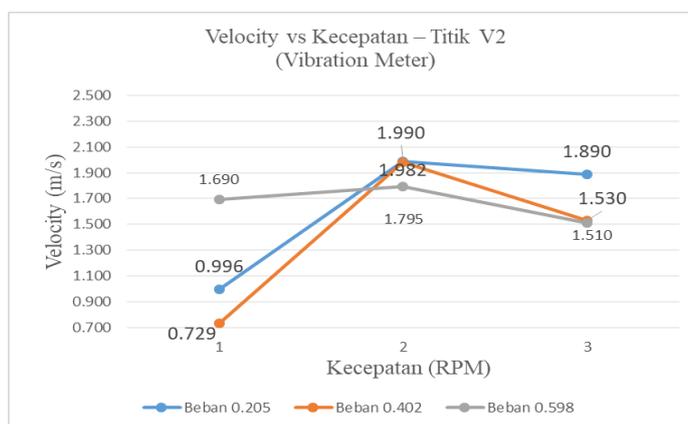
Berikut juga dapat terdapat perbandingan yang dibuat dengan tujuan untuk dapat mudah divisualisasikan sebagai berikut:



**Gambar 4. 6** Perbandingan *Velocity vs Kecepatan* Pada Titik V1 (*Vibration Meter*)

Pada Titik V1, tren kecepatan getaran menunjukkan penurunan nilai seiring bertambahnya kecepatan RPM pada semua variasi beban. Pada beban 0.205 N, kecepatan getaran awalnya berada pada nilai tertinggi yaitu 0.975 m/s pada kecepatan 1, kemudian menurun menjadi 0.823 m/s pada kecepatan 2, dan kembali sedikit meningkat menjadi 0.842 m/s pada kecepatan 3.

Sementara itu, untuk beban 0.402 N dan 0.598 N, nilai *Velocity* menurun secara konsisten dari kecepatan 1 ke kecepatan 3. Beban 0.402 N turun dari 0.923 m/s ke 0.710 m/s, sedangkan beban 0.598 N turun dari 0.926 m/s ke 0.792 m/s. Hal ini mengindikasikan bahwa pada Titik V1, semakin tinggi kecepatan putar, semakin rendah kecepatan getaran akibat respons sistem terhadap beban dinamis mulai teredam.

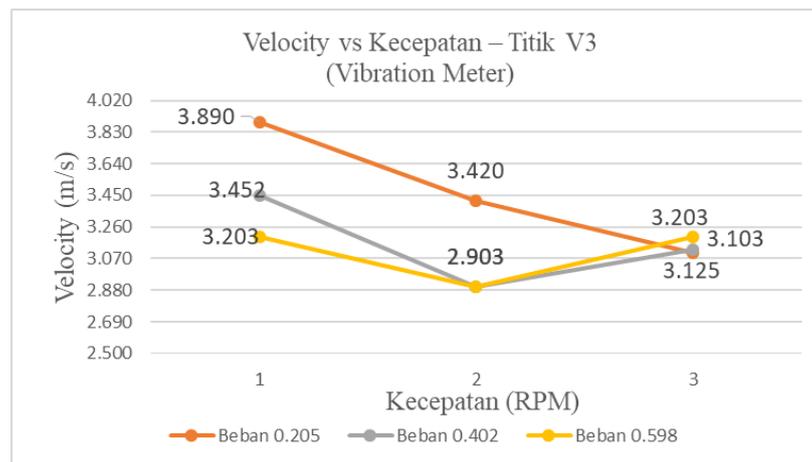


**Gambar 4. 7** Perbandingan *Velocity* vs Kecepatan Pada Titik V2 (*Vibration Meter*)

Hasil pengukuran pada Titik V2 menunjukkan pola yang berbeda, yaitu peningkatan nilai *Velocity* pada kecepatan 2, diikuti oleh penurunan pada kecepatan 3 untuk semua variasi beban. Pada beban 0.205 N, nilai *Velocity* meningkat signifikan dari 0.996 m/s pada kecepatan 1 menjadi 1.990 m/s pada kecepatan 2, lalu menurun menjadi 1.890 m/s pada kecepatan 3.

Untuk beban 0.402 N, pola serupa terjadi dengan lonjakan dari 0.729 m/s ke 1.982 m/s, lalu menurun ke 1.530 m/s. Beban 0.598 N juga menunjukkan tren peningkatan dari 1.690 m/s ke 1.795 m/s, kemudian turun ke 1.510 m/s.

Fenomena ini mengindikasikan kemungkinan terjadinya resonansi atau respons alami sistem pada kecepatan menengah (RPM 2), yang menyebabkan peningkatan signifikan pada kecepatan getaran. Setelah melewati titik tersebut, sistem cenderung kembali ke kondisi lebih stabil, ditandai dengan penurunan nilai *Velocity*.



**Gambar 4. 8** Perbandingan *Velocity* vs Kecepatan Pada Titik V3 (*Vibration Meter*)

Pada Titik V3, nilai *Velocity* pada beban 0.205 N menunjukkan tren menurun dari 3.890 m/s pada kecepatan 1 menjadi 3.203 m/s pada kecepatan 3. Hal serupa terjadi pada beban 0.402 N, dari 3.452 m/s menurun ke 3.125 m/s. Berbeda halnya dengan beban 0.598 N, di mana nilai *Velocity* menurun dari 3.203 m/s ke 2.903 m/s pada kecepatan 2, kemudian meningkat kembali menjadi 3.103 m/s pada kecepatan 3.

Data ini menunjukkan bahwa Titik V3 memiliki nilai *Velocity* yang relatif lebih tinggi dibandingkan dua titik lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh posisi titik yang berada lebih dekat dengan sumber getaran atau lebih sensitif terhadap pengaruh pembebanan. Secara umum, kecenderungan penurunan *Velocity* pada titik ini menunjukkan bahwa sistem mulai kehilangan respons dinamisnya seiring bertambahnya kecepatan rotasi, kecuali pada beberapa kondisi beban tertentu.

#### 4.4 Hasil Pengukuran Menggunakan *Modal Analysis*

Pada subbab ini disajikan hasil pengukuran getaran menggunakan alat *Modal Analysis Testing*, yang terdiri dari sensor akselerometer dan sistem akuisisi data berbasis perangkat lunak. Alat ini digunakan untuk memperoleh frekuensi dari mesin berputar yang dibebani secara bertahap. Hasil dari alat ini menggambarkan karakteristik struktural sistem akibat variasi pembebanan.

**Tabel 4.6** Hasil Pengukuran Menggunakan *Modal Analysis Testing*

Hasil Pengukuran Frekuensi Menggunakan <i>Modal Analysis Testing</i>			
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi (Hz)
V1	1 (1500 RPM)	0.205	76
		0.402	72.03
		0.598	74.2
	2 (1700 RPM)	0.205	76.01
		0.402	72.03
		0.598	74
	3 (1900 RPM)	0.205	76.01
		0.402	48.5
		0.598	72.99
V2	1 (1500 RPM)	0.205	48.01
		0.402	76.01
		0.598	72.99
	2 (1700 RPM)	0.205	76.01
		0.402	76.2
		0.598	76.01
	3 (1900 RPM)	0.205	76.01
		0.402	58.89
		0.598	65.9
V3	1 (1500 RPM)	0.205	76.01
		0.402	76.01
		0.598	70.1
	2 (1700 RPM)	0.205	76.01
		0.402	48.6
		0.598	73.4
	3 (1900 RPM)	0.205	76.01
		0.402	74.2
		0.598	87.2

##### 4.4.1 Pengukuran Data Akeselerasi pada Tiap Titik Pengukuran – *Modal Analysis Testing*

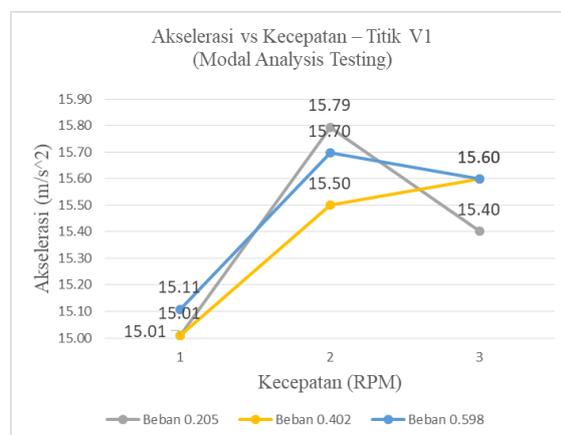
Pengukuran akselerasi dilakukan menggunakan alat *Modal Analysis Testing* untuk mengetahui respons dinamis struktur terhadap variasi beban dan kecepatan. Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik getaran pada struktur melalui data akselerasi di tiga titik yang telah ditentukan, yaitu Titik V1, V2, dan V3. Pada masing-masing titik, dilakukan pengujian dengan tiga variasi beban: 0.205 kg, 0.402 kg, dan 0.598 kg, serta pada tiga level kecepatan yang berbeda.

Data akselerasi yang dihasilkan dianalisis untuk melihat pengaruh perubahan beban dan kecepatan terhadap respon getaran struktur. Hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi pola dinamika struktural.

**Tabel 4.7** Hasil Pengukuran Akselerasi Menggunakan *Modal Analysis Testing*

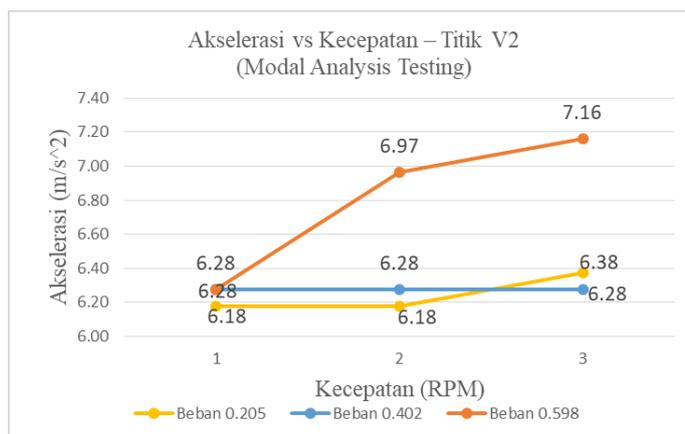
		TITIK V1				
		Kecepatan	Akselerasi			
			Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598	
Modal Analysis Testing	1 (1500 RPM)	15.01	15.01	15.11		
	2 (1700 RPM)	15.79	15.50	15.70		
	3 (1900 RPM)	15.40	15.60	15.60		
			TITIK V2			
			Kecepatan	Akselerasi		
				Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
		1 (1500 RPM)	6.18	6.28	6.28	
		2 (1700 RPM)	6.18	6.28	6.97	
		3 (1900 RPM)	6.38	6.28	7.16	
			TITIK V3			
			Kecepatan	Akselerasi		
				Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
	1 (1500 RPM)	3.53	3.73	4.32		
	2 (1700 RPM)	3.63	3.83	4.41		
	3 (1900 RPM)	3.83	4.12	4.41		

Terdapat juga grafik yang dibuat untuk memvisualisasikan pada tabel 4.5, yang dapat dilihat sebagai berikut;



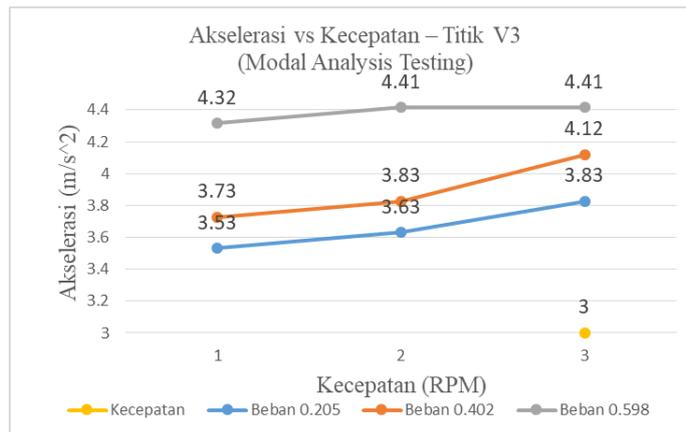
**Gambar 4.9** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V1  
(*Modal Analysis Testing*)

Titik V1 menunjukkan nilai akselerasi yang paling tinggi dibandingkan titik lainnya. Akselerasi mengalami peningkatan signifikan dari kecepatan level 1 ke level 2, dengan puncaknya terjadi pada kecepatan level 2 dan beban 0.402 kg yaitu sebesar 15.79 m/s<sup>2</sup>. Setelah itu, akselerasi sedikit menurun pada kecepatan level 3, yang mengindikasikan kemungkinan terjadi fenomena resonansi di kecepatan menengah. Tren ini menunjukkan bahwa pada Titik V1 terdapat simpul utama resonansi yang cukup dominan.



**Gambar 4. 10** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V2 (*Modal Analysis Testing*)

Dapat dilihat pada gambar 4.7. Titik V2 memperlihatkan respons yang lebih stabil dengan akselerasi berkisar antara 6.18 hingga 7.16 m/s<sup>2</sup>. Akselerasi relatif konstan pada beban rendah hingga sedang (0.205–0.402 kg), namun menunjukkan kenaikan cukup berarti pada beban 0.598 kg, khususnya pada kecepatan level 2 dan 3. Kenaikan ini menandakan bahwa struktur mulai menunjukkan sensitivitas terhadap massa tambahan, dan kemungkinan terdapat perpindahan energi ke bagian ini dari simpul resonansi utama.



**Gambar 4. 11** Perbandingan Akselerasi dan Kecepatan Pada Titik V3 (*Modal Analysis Testing*)

Di Titik V3, nilai akselerasi terendah dicatat, yaitu pada kisaran 3.53–4.41 m/s<sup>2</sup>. Kenaikan akselerasi seiring meningkatnya beban dan kecepatan menunjukkan pola linear dan stabil, tanpa indikasi resonansi. Hal ini menunjukkan bahwa Titik V3 merupakan bagian struktur yang relatif teredam atau jauh dari simpul getaran utama. Respons linier ini juga mencerminkan bahwa titik tersebut lebih stabil secara dinamis.

Berdasarkan hasil pengukuran dan grafik akselerasi terhadap kecepatan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik dinamis struktur sangat dipengaruhi oleh letak titik pengukuran serta variasi beban dan kecepatan. Titik V1 menunjukkan potensi sebagai lokasi utama terjadinya resonansi dengan respons akselerasi tertinggi, sedangkan Titik V3 menunjukkan performa paling stabil. Perbedaan pola ini penting dalam menganalisis kekakuan, massa, dan distribusi energi dalam struktur yang diuji.

Penggunaan alat *Modal Analysis Testing* terbukti efektif dalam memperoleh data dinamis secara presisi, sehingga mendukung proses analisis frekuensi alami dan bentuk mode getaran. Data yang diperoleh juga dapat digunakan untuk kalibrasi model numerik atau simulasi lanjutan dalam studi struktur dinamis.

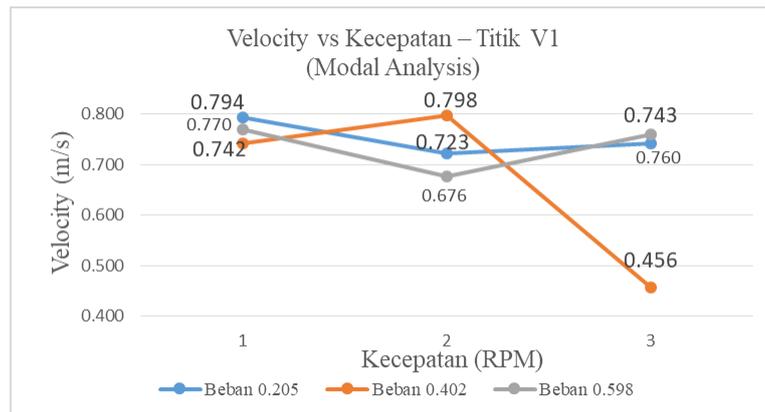
#### 4.4.2 Pengukuran Dan Perhitungan pada Kecepatan Getaran (*Velocity*) – *Modal Analysis Testing*

Pengukuran kecepatan getaran (*Velocity*) dilakukan sebagai bagian dari pengujian modal menggunakan alat *Modal Analysis Testing*. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui respons dinamis struktur dalam bentuk kecepatan partikel akibat getaran pada berbagai titik pengukuran, yaitu Titik V1, V2, dan V3. Data diambil berdasarkan variasi kecepatan pengujian (level 1, 2, dan 3) serta tiga tingkat pembebanan (0.205 kg, 0.402 kg, dan 0.598 kg).

Parameter kecepatan getaran penting untuk dianalisis karena berperan dalam menentukan energi kinetik dari sistem struktur selama bergetar. Data ini juga digunakan untuk memperkirakan potensi getaran berlebih yang dapat berpengaruh terhadap integritas struktur. Dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut;

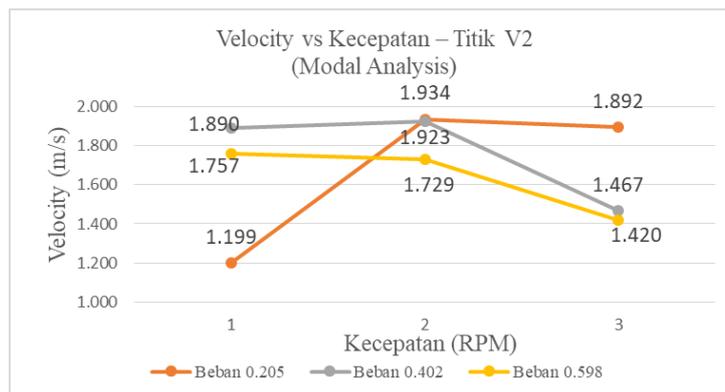
**Tabel 4.8** Hasil Pengukuran *Velocity* Menggunakan *Modal Analysis Testing*

Modal Analysis			
TITIK V1			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	0.794	0.742	0.770
2 (1700)	0.723	0.798	0.676
3 (1900)	0.743	0.456	0.760
TITIK V2			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	1.199	1.890	1.757
2 (1700)	1.934	1.923	1.729
3 (1900)	1.892	1.467	1.420
TITIK V3			
Kecepatan (RPM)	Velocity (Kecepatan Getaran)		
	Beban 0.205	Beban 0.402	Beban 0.598
1 (1500)	3.358	3.189	2.687
2 (1700)	3.285	2.133	2.690
3 (1900)	3.204	2.908	3.032



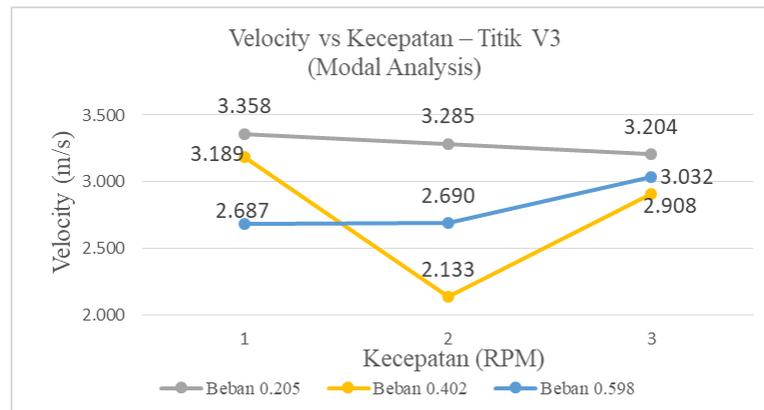
**Gambar 4. 12** Perbandingan *Velocity* vs Kecepatan Pada Titik V1 (*Modal Analysis*)

Pada titik pengukuran V1, nilai kecepatan getaran menunjukkan fluktuasi yang tidak konsisten. Untuk beban 0.205 N, nilai *Velocity* cenderung stabil, dimulai dari 0.794 m/s pada RPM 1, menurun ke 0.723 m/s pada RPM 2, lalu kembali naik ke 0.743 m/s pada RPM 3. Ini menandakan bahwa pada beban ringan, struktur relatif mampu meredam getaran dengan baik. Berbeda halnya pada beban 0.402 N, terdapat kenaikan nilai *Velocity* hingga 0.798 m/s di RPM 2, namun menurun tajam ke 0.456 m/s pada RPM 3. Penurunan yang signifikan ini mengindikasikan adanya pelemahan respons akibat efek peredaman struktural atau bisa juga karena perubahan pola mode getaran. Sementara itu, beban 0.598 N menunjukkan tren penurunan pada RPM 2 ke nilai 0.676 m/s sebelum naik ke 0.760 m/s pada RPM 3. Hal ini memperlihatkan bahwa pada titik V1, struktur merespons secara nonlinier terhadap kombinasi perubahan beban dan kecepatan, yang menunjukkan adanya variabel dinamis lain yang mempengaruhi seperti kekakuan lokal atau kondisi batas (*boundary condition*).



**Gambar 4.13** Perbandingan *Velocity vs Kecepatan* Pada Titik V2 (*Modal Analysis*)

Dapat dilihat pada gambar 4.13 diatas, Sementara itu, pada titik V2, terlihat bahwa respons getaran lebih besar dibandingkan titik V1, dengan kisaran nilai *Velocity* antara 1.199 hingga 1.934 m/s. Beban 0.205 N mengalami peningkatan signifikan dari 1.199 m/s pada RPM 1 menjadi 1.923 m/s pada RPM 2, dan sedikit menurun ke 1.892 m/s pada RPM 3. Tren ini menunjukkan kemungkinan bahwa pada RPM 2, sistem mendekati kondisi resonansi, yaitu ketika frekuensi eksitasi mendekati frekuensi alami struktur. Beban 0.402 N menunjukkan nilai tertinggi sebesar 1.934 m/s pada RPM 2, setelah naik dari 1.890 m/s (RPM 1) dan kemudian menurun drastis ke 1.467 m/s pada RPM 3. Hal ini kembali menegaskan bahwa RPM 2 merupakan titik kritis pada beban menengah, di mana sistem mengalami amplifikasi getaran maksimum. Sedangkan pada beban 0.598 N, respons menunjukkan pola menurun dari 1.757 m/s ke 1.420 m/s seiring dengan peningkatan RPM. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa struktur pada titik V2 cenderung meredam lebih baik saat beban lebih berat diberikan, atau kemungkinan sistem menjauh dari frekuensi alami.



**Gambar 4.14** Perbandingan *Velocity* vs Kecepatan Pada Titik V3 (*Modal Analysis*)

Untuk titik V3, nilai *Velocity* berada pada kisaran tertinggi dibandingkan titik lainnya, yang menunjukkan bahwa titik ini mengalami eksitasi getaran yang paling signifikan. Beban 0.205 N memberikan respons tertinggi dengan nilai 3.358 m/s pada RPM 1, menurun ke 3.285 m/s pada RPM 2, dan turun lagi ke 3.204 m/s pada RPM 3. Walaupun terjadi penurunan bertahap, nilai *Velocity* tetap tinggi, menandakan bahwa titik V3 merupakan bagian struktur yang paling sensitif terhadap vibrasi. Untuk beban 0.402 N, terjadi penurunan tajam dari 3.189 m/s (RPM 1) menjadi 2.133 m/s (RPM 2), namun kembali naik ke 2.908 m/s pada RPM 3. Pola ini menunjukkan adanya pengaruh kuat dari variasi kecepatan terhadap getaran struktur, di mana RPM 2 mungkin menjauh dari mode resonansi, namun RPM 3 mendekatinya kembali. Pada beban 0.598 N, nilai *Velocity* relatif stabil dari 2.687 m/s ke 2.690 m/s, lalu meningkat ke 3.032 m/s. Ini mengindikasikan bahwa beban berat memperkuat respons getaran terutama pada kecepatan tinggi.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa titik V3 merupakan lokasi dengan respons getaran tertinggi secara konsisten, yang berarti titik ini merupakan bagian struktur yang paling kritis dan rentan terhadap vibrasi berlebih. Titik V2 menunjukkan indikasi resonansi terutama pada RPM 2 dan beban 0.402 N, sedangkan titik V1 menunjukkan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan, namun tetap perlu diperhatikan karena terdapat penurunan drastis pada kondisi tertentu. Pola respons yang berbeda di tiap titik memperlihatkan pentingnya pendekatan

pengujian *Modal Analysis* untuk memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai perilaku dinamis struktur. Hal ini penting sebagai dasar dalam upaya penguatan struktur, pengendalian getaran, dan penentuan titik kritis yang membutuhkan peredaman tambahan atau modifikasi desain.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan *Modal Analysis Testing* dengan bantuan Simcenter Testlab, diperoleh data velocity getaran pada tiga titik pengukuran (V1, V2, dan V3) terhadap variasi pembebanan (jumlah baut) dan kecepatan putar (RPM).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai velocity cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban (jumlah baut) dan kecepatan putar. Hal ini disebabkan oleh peningkatan gaya sentrifugal akibat unbalance, yang menghasilkan eksitasi dinamis pada sistem mesin berputar.

Adapun analisis signifikan pada *Modal Analysis* yang dapat dilihat sebagai berikut::

- a. Pada titik V3, saat mesin berputar pada RPM 3 dengan 3 baut, velocity mencapai 3.358 m/s, tertinggi dari seluruh data yang diambil.
- b. Titik V1 juga menunjukkan respons getaran yang kuat pada kondisi beban tinggi, yang dapat diindikasikan sebagai area sensitif terhadap resonansi lokal.
- c. Titik V2 memiliki nilai velocity yang lebih rendah secara konsisten, menunjukkan bahwa lokasi tersebut memiliki karakteristik struktur yang lebih stabil atau lebih dekat dengan titik tumpuan.

Analisis tren yang dapat dilihat sebagai berikut:

1. Velocity meningkat seiring RPM dan beban → menunjukkan bahwa unbalance secara langsung mempengaruhi respons dinamis sistem.
2. Respons tidak linier antar titik → karena posisi sensor, kekakuan lokal, dan distribusi massa mempengaruhi amplitude getaran.
3. Gejala resonansi lokal muncul di beberapa titik, terlihat dari lonjakan nilai velocity yang tidak proporsional terhadap kenaikan RPM.

Kesimpulan data hasil pengukuran *Modal Analysis* memberikan gambaran kuantitatif dan kualitatif terhadap respons dinamis mesin akibat unbalance, melalui pengamatan terhadap velocity. Titik dengan nilai velocity tertinggi mengindikasikan lokasi paling responsif terhadap gaya eksitasi dinamis, dan penting untuk diperhatikan dalam perancangan atau perawatan mesin berputar.

#### **4.5 Perbandingan Hasil *Modal Analysis* dan *Vibration Meter***

Setelah diperoleh data dari kedua alat pengukuran, yaitu *Modal Analysis Testing* dan *Vibration Meter*, langkah penting berikutnya adalah melakukan analisis perbandingan. Subbab ini membahas kesamaan dan perbedaan hasil pengukuran dari kedua alat berdasarkan parameter frekuensi, akselerasi, dan *Velocity* getaran. Dengan perbandingan ini, dapat dinilai sejauh mana kedua alat mampu mendeteksi perubahan dinamis akibat pembebanan, serta mana yang lebih sensitif atau akurat dalam kondisi tertentu.

Perbandingan ini tidak hanya melihat dari sisi nilai numerik, tetapi juga mempertimbangkan pendekatan pengukuran masing-masing alat: *Modal Analysis Testing* dengan pendekatan eksitasi sedangkan *Vibration Meter* dengan pendekatan operasional dan *real-time monitoring*.

##### **4.5.1 Perbandingan Frekuensi Antara *Modal Analysis* dan *Vibration Meter***

Untuk memperoleh validasi hasil pengujian getaran, dilakukan perbandingan antara nilai frekuensi yang diperoleh dari metode *Modal Analysis Testing* dengan alat bantu *Vibration Meter*. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk melihat sejauh mana kesesuaian antara data eksperimental menggunakan sistem pengukuran lanjutan (*Modal Analysis*) dan alat ukur portabel (*Vibration Meter*) dalam menangkap karakteristik frekuensi getaran struktur.

Perbandingan ini dilakukan pada titik V1, yang sebelumnya telah menunjukkan respons getaran dominan. Data diambil untuk tiga kondisi beban berbeda (0.205 kg, 0.402 kg, dan 0.598 kg), kemudian dibandingkan nilai frekuensinya. Hasil ini akan memberikan gambaran konsistensi pengukuran serta ketelitian alat yang digunakan.

**Tabel 4.9** Perbandingan Frekuensi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

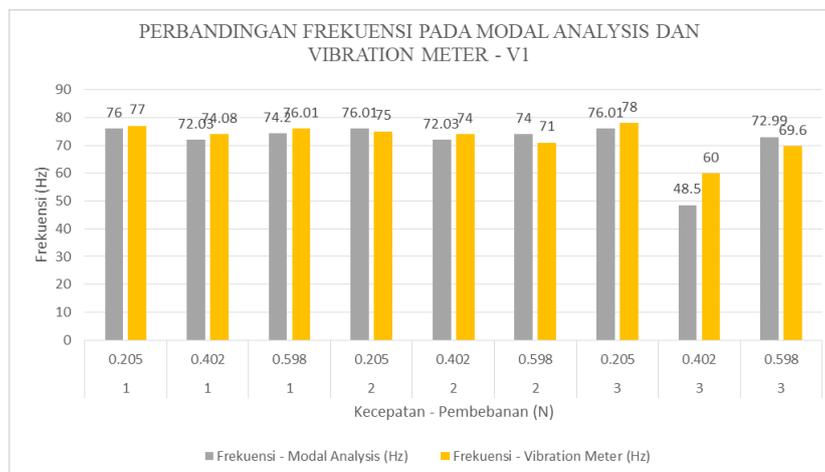
PERBANDINGAN FREKUENSI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V1			
Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi - Modal Analysis (Hz)	Frekuensi - Vibration Meter (Hz)
1	0.205	76	77
1	0.402	72.03	74.08
1	0.598	74.2	76.01
2	0.205	76.01	75
2	0.402	72.03	74
2	0.598	74	71
3	0.205	76.01	78
3	0.402	48.5	60
3	0.598	72.99	69.6

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada Tabel Perbandingan Frekuensi pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* – V1, frekuensi yang diperoleh dari kedua metode menunjukkan kecenderungan yang hampir serupa, terutama pada kecepatan 1 dan 2. Misalnya, pada kecepatan 1 dan beban 0.205 N, frekuensi yang dihasilkan oleh *Modal Analysis* adalah 76 Hz, sedangkan *Vibration Meter* menunjukkan nilai 77 Hz. Selisih yang kecil ini menunjukkan bahwa kedua alat dapat digunakan untuk memperoleh hasil yang cukup presisi.

Namun, perbedaan yang cukup mencolok terjadi pada kecepatan 3 dengan beban 0.402 N, di mana frekuensi hasil pengukuran menggunakan *Modal Analysis* turun drastis ke angka 48.5 Hz, sedangkan hasil dari *Vibration Meter* menunjukkan 60 Hz. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh ketidakstabilan struktur saat beban dan kecepatan tinggi diterapkan secara bersamaan, atau adanya noise eksternal yang memengaruhi sensor pada salah satu alat ukur. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi ekstrem, perbedaan hasil antara kedua metode dapat meningkat secara signifikan.

Pada umumnya, data dari *Vibration Meter* cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan *Modal Analysis*, namun perbedaannya masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk analisis getaran. Hal ini menunjukkan bahwa kedua metode dapat saling melengkapi dalam

proses pengukuran, dan penggunaan keduanya dapat memberikan validasi silang terhadap hasil yang diperoleh.



**Gambar 4. 15** Perbandingan Frekuensi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

Secara keseluruhan, grafik batang yang menyertai tabel hasil pengukuran menunjukkan pola yang relatif konsisten, dengan fluktuasi kecil antara dua metode tersebut. Pola ini mengonfirmasi bahwa *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* keduanya mampu memberikan data frekuensi yang dapat diandalkan, terutama dalam kondisi pengujian yang stabil. Dengan demikian, penggunaan kedua metode ini dapat meningkatkan keyakinan terhadap keakuratan data frekuensi alami struktur yang diuji.

Pada pengujian ini dilakukan perbandingan antara hasil pengukuran frekuensi menggunakan metode *Modal Analysis* dengan hasil pengukuran langsung melalui *Vibration Meter* pada titik pengamatan V2. Pengukuran dilakukan pada tiga tingkat kecepatan (1, 2, dan 3) dengan masing-masing variasi pembebanan sebesar 0.205 N, 0.402 N, dan 0.598 N. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi seberapa besar tingkat akurasi dari metode *Modal Analysis* terhadap alat ukur *Vibration Meter* yang sudah umum digunakan dalam pengukuran getaran.

**Tabel 4.10** Perbandingan Frekuensi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V2

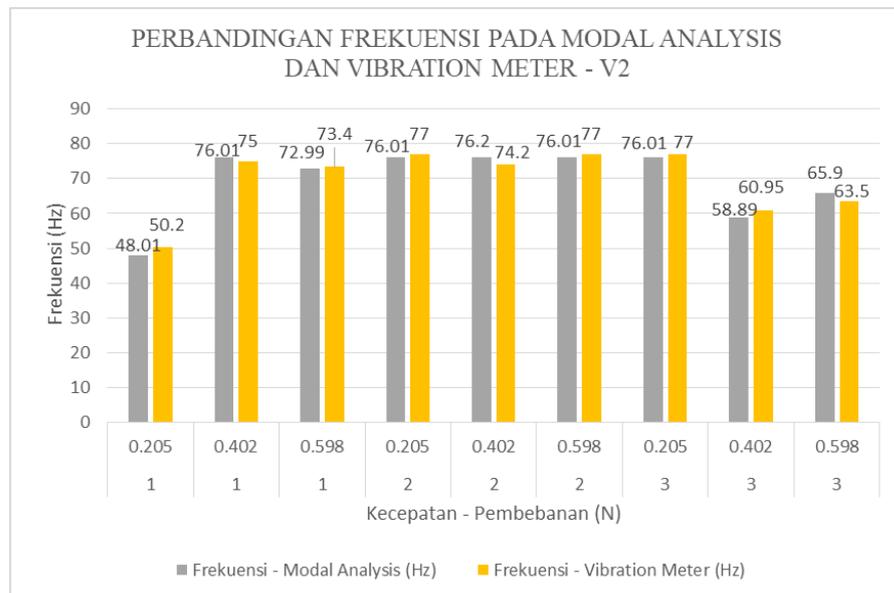
PERBANDINGAN FREKUENSI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V2			
Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi - Modal Analysis (Hz)	Frekuensi - Vibration Meter (Hz)
1	0.205	48.01	50.2
1	0.402	76.01	75
1	0.598	72.99	73.4
2	0.205	76.01	77
2	0.402	76.2	74.2
2	0.598	76.01	77
3	0.205	76.01	77
3	0.402	58.89	60.95
3	0.598	65.9	63.5

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi yang diperoleh dari *Modal Analysis* umumnya memiliki nilai yang cukup mendekati hasil dari *Vibration Meter*. Pada kecepatan 1, terjadi perbedaan sebesar 2.19 Hz pada pembebanan 0.205 N, di mana *Modal Analysis* mencatat frekuensi sebesar 48.01 Hz sementara *Vibration Meter* menunjukkan 50.2 Hz. Namun, pada pembebanan 0.402 N dan 0.598 N, selisih antara kedua metode relatif kecil, yaitu masing-masing hanya sekitar 1 Hz dan 0.41 Hz, yang masih termasuk dalam batas toleransi kesalahan pengukuran.

Pada kecepatan 2, hasil pengukuran dari kedua metode menunjukkan konsistensi yang sangat baik. Pada pembebanan 0.205 N dan 0.598 N, frekuensi yang tercatat dari *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* hampir identik, yaitu berkisar di angka 76.01–77 Hz. Sedangkan pada pembebanan 0.402 N, terdapat selisih sekitar 2 Hz, namun masih tergolong kecil dan tidak signifikan.

Selanjutnya, pada kecepatan 3, hasil frekuensi dari *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* juga menunjukkan kecenderungan yang serupa, meskipun terjadi sedikit variasi yang lebih besar. Perbedaan nilai paling signifikan terjadi pada pembebanan 0.402 N dengan deviasi sebesar 2.06 Hz, serta pada pembebanan 0.598 N dengan selisih 2.4 Hz. Namun demikian, frekuensi yang terdeteksi dari kedua metode tetap berada

dalam kisaran yang sama dan dapat dikatakan masih sesuai secara praktis.



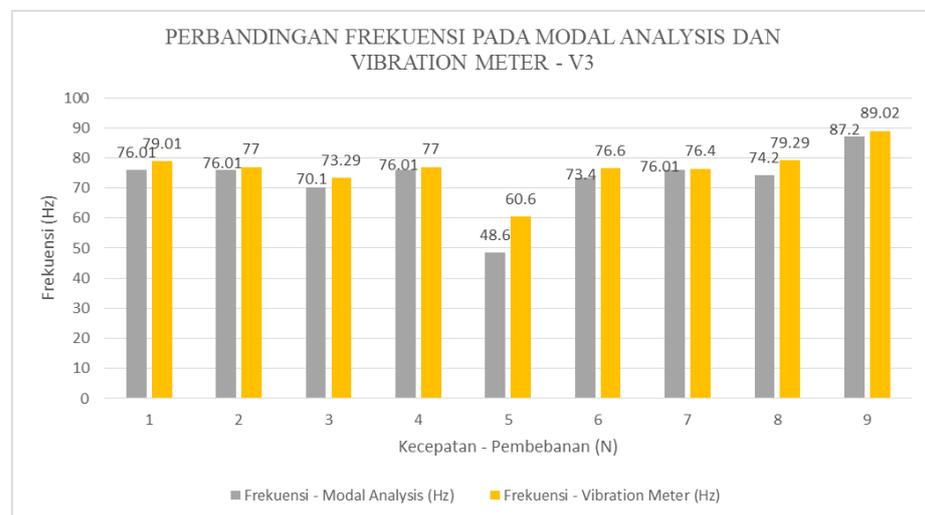
**Gambar 4. 16** Perbandingan Frekuensi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V2

Berdasarkan hasil pengamatan dan perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Modal Analysis* memberikan hasil yang cukup akurat dan valid dalam mengukur frekuensi alami suatu struktur. Nilai frekuensi yang diperoleh sangat mendekati hasil pengukuran dari *Vibration Meter*. Deviasi yang terjadi bersifat minor dan masih dalam batas toleransi teknis, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti sensitivitas alat, ketelitian pemodelan, serta pengaruh lingkungan sekitar. Dengan demikian, *Modal Analysis* dapat dipercaya sebagai metode alternatif atau pelengkap dalam analisis getaran mesin atau struktur.

Selanjutnya, pada pengujian V3, dilakukan perbandingan frekuensi antara hasil *Modal Analysis* dan pengukuran menggunakan *Vibration Meter* dengan variasi kecepatan dan pembebanan yang lebih banyak. Berdasarkan data pada tabel dan grafik batang yang disajikan, terlihat bahwa frekuensi getaran mengalami perubahan yang signifikan terutama pada pembebanan yang lebih tinggi.

**Tabel 4.11** Perbandingan Frekuensi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

PERBANDINGAN FREKUENSI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V3			
Kecepatan	Beban (N)	Frekuensi - Modal Analysis (Hz)	Frekuensi - Vibration Meter (Hz)
1	0.205	76.01	79.01
1	0.402	76.01	77
1	0.598	70.1	73.29
2	0.205	76.01	77
2	0.402	48.6	60.6
2	0.598	73.4	76.6
3	0.205	76.01	76.4
3	0.402	74.2	79.29
3	0.598	87.2	89.02



**Gambar 4. 17** Perbandingan Frekuensi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

Pada kecepatan 1 dengan beban 0.205 N dan 0.402 N, hasil frekuensi dari *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* menunjukkan nilai yang cukup dekat yaitu sekitar 76 Hz hingga 79 Hz. Namun, pada beban 0.598 N terjadi sedikit perbedaan, di mana *Modal Analysis* mencatat 70.1 Hz sedangkan *Vibration Meter* mencatat 73.29 Hz.

Ketika kecepatan ditingkatkan ke level 2, tren data menunjukkan bahwa frekuensi dari kedua metode tetap berada di kisaran yang mirip, dengan *Modal Analysis* menghasilkan frekuensi antara 48.6 Hz hingga 76.01 Hz, sementara *Vibration Meter* menunjukkan kisaran antara 60.6

Hz hingga 77 Hz. Perbedaan cukup mencolok terlihat pada beban 0.402 N, di mana *Modal Analysis* hanya mencatat 48.6 Hz, sedangkan *Vibration Meter* mencatat 60.6 Hz. Hal ini mungkin disebabkan oleh respons dinamis struktur yang berbeda atau sensitivitas alat ukur terhadap perubahan amplitudo getaran.

Pada kecepatan 3, terjadi lonjakan signifikan pada nilai frekuensi terutama pada pembebanan yang lebih besar. Pada beban 0.598 N, *Modal Analysis* mencatat frekuensi sebesar 87.2 Hz, sedangkan *Vibration Meter* mencatat 89.02 Hz. Kenaikan ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan beban dan kecepatan, struktur mengalami perubahan karakteristik dinamis yang menyebabkan peningkatan nilai frekuensi resonansi. Selain itu, hasil pengukuran *Vibration Meter* secara umum menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil *Modal Analysis*, yang dapat disebabkan oleh adanya faktor eksternal seperti noise, sensitivitas sensor, atau resolusi alat ukur.

Secara keseluruhan, data V3 menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan frekuensi seiring dengan peningkatan pembebanan dan kecepatan. Meskipun terdapat beberapa selisih antara hasil *Modal Analysis* dan *Vibration Meter*, secara umum kedua metode menunjukkan pola perubahan frekuensi yang serupa dan konsisten, sehingga keduanya dapat saling melengkapi dalam analisis getaran struktural.

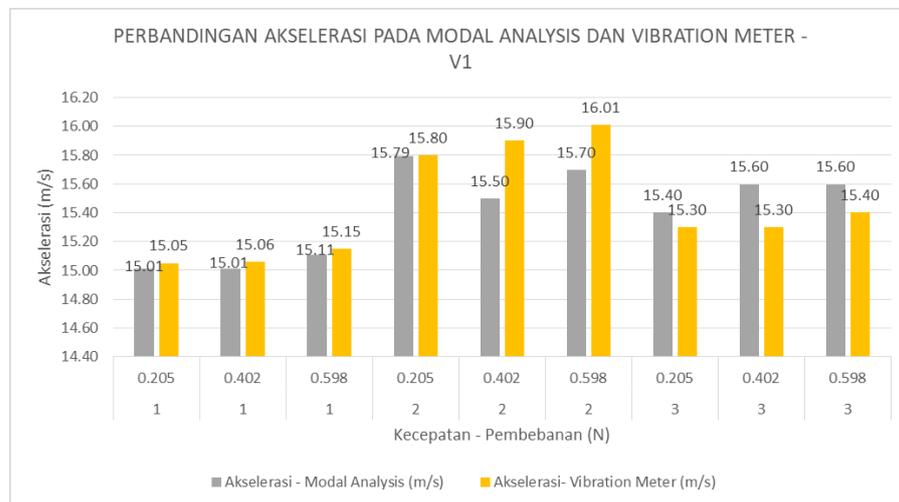
#### **4.5.2 Perbandingan Akselerasi antara *Modal Analysis* dan *Vibration Meter***

Pada pengujian ini, dilakukan perbandingan nilai akselerasi antara hasil *Modal Analysis* berbasis simulasi dan pengukuran langsung menggunakan *Vibration Meter* pada sistem V1. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan (1, 2, dan 3) serta tiga tingkat pembebanan berbeda, yaitu 0.205 N, 0.402 N, dan 0.598 N. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana akurasi hasil simulasi dalam merepresentasikan kondisi nyata dari sistem getaran.

**Tabel 4.12** Perbandingan Akselerasi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

PERBANDINGAN AKSELERASI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V1			
Kecepatan	Beban (N)	Akselerasi - Modal Analysis (m/s)	Akselerasi- Vibration Meter (m/s)
1	0.205	15.01	15.05
1	0.402	15.01	15.06
1	0.598	15.11	15.15
2	0.205	15.79	15.80
2	0.402	15.50	15.90
2	0.598	15.70	16.01
3	0.205	15.40	15.30
3	0.402	15.60	15.30
3	0.598	15.60	15.40

Serta dibuatkan juga grafik untuk memvisualisasi data yang dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut:



**Gambar 4.18** Perbandingan Akselerasi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan dalam Tabel 4.10 dan Gambar 4.12, terlihat bahwa nilai akselerasi yang diperoleh dari kedua metode berada dalam rentang yang relatif berdekatan. Pada kecepatan 1, selisih antara hasil *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* berkisar antara 0.04 m/s hingga 0.05 m/s. Hal ini menunjukkan konsistensi antara hasil simulasi dan pengukuran langsung pada kecepatan rendah.

Namun, pada kecepatan 2, terjadi peningkatan selisih akselerasi, khususnya pada pembebanan 0.402 N dan 0.598 N. Pada beban 0.402 N, nilai akselerasi dari *Vibration Meter* mencapai 15.90 m/s, sedangkan hasil dari *Modal Analysis* hanya sebesar 15.50 m/s, menghasilkan selisih

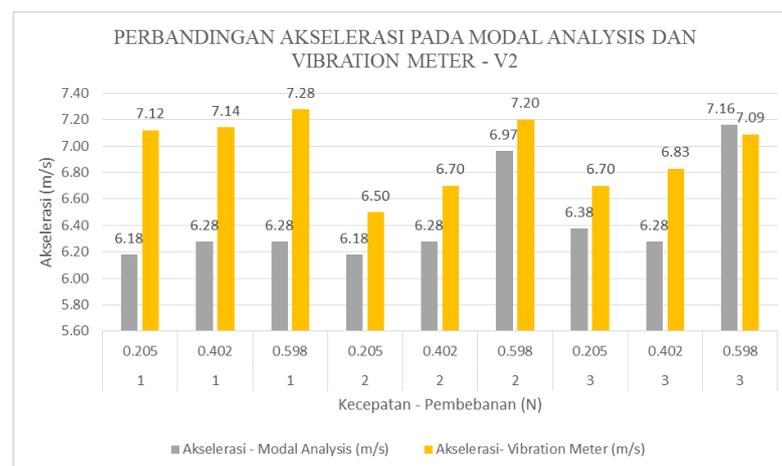
0.40 m/s. Begitu pula pada beban 0.598 N, selisih mencapai 0.31 m/s. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh sensitivitas sistem terhadap peningkatan kecepatan dan beban, serta keterbatasan simulasi dalam merepresentasikan semua faktor dinamis aktual seperti gesekan, keausan, atau noise lingkungan.

Pada kecepatan 3, perbedaan antara kedua metode kembali mengecil dan cenderung stabil, dengan selisih berkisar 0.10–0.20 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, sistem mungkin telah mencapai kondisi resonansi stabil, sehingga perbedaan nilai akselerasi antara simulasi dan pengukuran menjadi lebih kecil.

Berikut ini hasil dari pengujian V2 yang dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut;

**Tabel 4.13** Perbandingan Akselerasi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V2

PERBANDINGAN AKSELERASI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V2			
Kecepatan	Beban (N)	Akselerasi - Modal Analysis (m/s)	Akselerasi- Vibration Meter (m/s)
1	0.205	6.18	7.12
1	0.402	6.28	7.14
1	0.598	6.28	7.28
2	0.205	6.18	6.50
2	0.402	6.28	6.70
2	0.598	6.97	7.20
3	0.205	6.38	6.70
3	0.402	6.28	6.83
3	0.598	7.16	7.09



**Gambar 4. 19** Perbandingan Akselerasi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V2

Pada pengujian titik pengukuran V2, tren perbandingan akselerasi antara *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* menunjukkan pola yang sedikit berbeda dibandingkan dengan V1. Pada kecepatan 1, hasil pengukuran *Vibration Meter* menunjukkan nilai akselerasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan *Modal Analysis*, dengan selisih rata-rata sekitar 0.90–1.00 m/s. Sebagai contoh, pada beban 0.598 N, akselerasi dari *Vibration Meter* adalah 7.28 m/s, sedangkan hasil simulasi hanya menunjukkan 6.28 m/s. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem V2 mungkin lebih sensitif terhadap gangguan dinamis atau getaran tak terduga yang hanya bisa terdeteksi oleh alat pengukuran langsung.

Pada kecepatan 2, nilai akselerasi dari kedua metode mulai menunjukkan kedekatan yang lebih baik, terutama pada beban 0.598 N, di mana *Modal Analysis* menunjukkan akselerasi sebesar 6.97 m/s, sementara *Vibration Meter* mencatat 7.20 m/s. Selisihnya hanya 0.23 m/s, yang menunjukkan bahwa pada kecepatan menengah dan beban maksimum, model simulasi cukup mampu mendekati kondisi riil.

Kecepatan 3 menunjukkan hasil yang paling stabil dan mendekati kesesuaian antara kedua metode, terutama pada beban tertinggi. Pada beban 0.598 N, nilai akselerasi dari *Modal Analysis* mencapai 7.16 m/s, sementara *Vibration Meter* adalah 7.09 m/s, hanya berbeda 0.07 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, model simulasi pada V2 sudah cukup akurat merepresentasikan fenomena dinamis dari sistem.

Secara keseluruhan, perbandingan akselerasi pada V2 menunjukkan bahwa kesesuaian antara metode simulasi dan eksperimental meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan dan beban. Selisih yang cukup signifikan pada kecepatan rendah kemungkinan disebabkan oleh noise atau faktor lingkungan yang memengaruhi pengukuran langsung, sedangkan pada kecepatan tinggi, sistem menunjukkan kestabilan dinamis yang lebih baik sehingga hasil antara kedua metode menjadi semakin mendekati. Temuan ini mengindikasikan perlunya kalibrasi

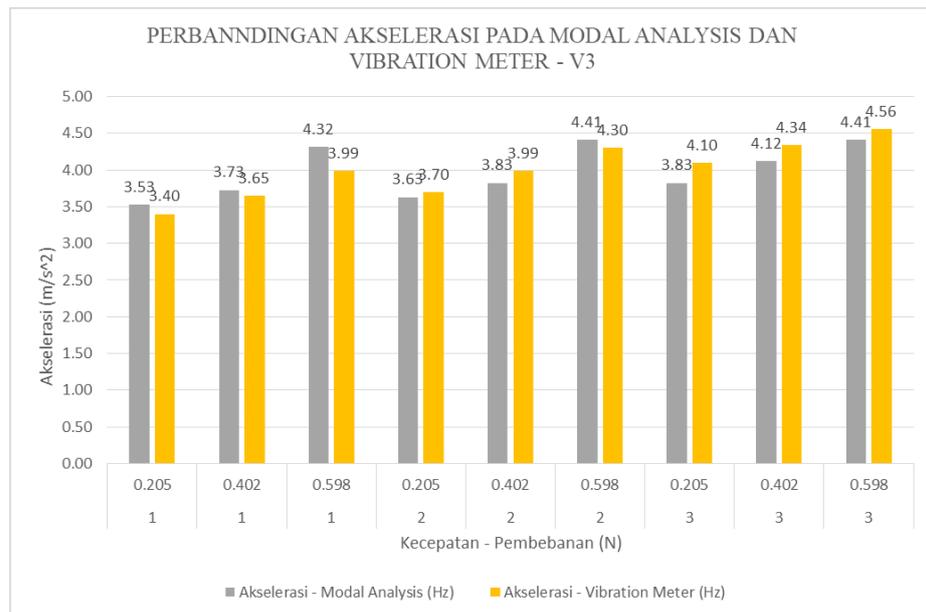
tambahan atau penyempurnaan model pada kecepatan rendah untuk meningkatkan akurasi simulasi.

Selanjutnya, hasil dari pengujian V3 yang dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut;

**Tabel 4.14** Perbandingan Akselerasi *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

PERBANDINGAN AKSELERASI PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V3			
Kecepatan	Beban (N)	Akselerasi - Modal Analysis (Hz)	Akselerasi - Vibration Meter (Hz)
1	0.205	3.53	3.40
1	0.402	3.73	3.65
1	0.598	4.32	3.99
2	0.205	3.63	3.70
2	0.402	3.83	3.99
2	0.598	4.41	4.30
3	0.205	3.83	4.10
3	0.402	4.12	4.34
3	0.598	4.41	4.56

Disertakan dengan diagram batang untuk memvisualisasikan data diatas sebagai berikut;



**Gambar 4. 20** Perbandingan Akselerasi Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

Pada kecepatan 1, akselerasi dari *Modal Analysis* menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya beban, dari 3.53 Hz (0.205 N) hingga 4.32 Hz (0.598 N). Nilai dari *Vibration Meter* juga meningkat dari 3.40

Hz ke 3.99 Hz, namun nilainya cenderung lebih rendah dibandingkan *Modal Analysis*. Selisih terbesar terjadi pada beban 0.598 N, yakni 0.33 Hz.

Pada kecepatan 2, akselerasi dari *Modal Analysis* kembali menunjukkan tren peningkatan, dari 3.63 Hz hingga 4.41 Hz. Nilai *Vibration Meter* juga mengalami peningkatan serupa. Namun pada beban 0.598 N, hasil *Vibration Meter* justru lebih rendah (4.30 Hz) dibandingkan *Modal Analysis* (4.41 Hz), menunjukkan adanya penyimpangan kecil sebesar 0.11 Hz.

Pada kecepatan 3, terjadi pergeseran signifikan. Data *Vibration Meter* secara konsisten lebih tinggi dari *Modal Analysis*, terutama pada beban 0.598 N dengan selisih 0.15 Hz (4.41 Hz vs 4.56 Hz). Ini menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, alat *Vibration Meter* cenderung memberikan pembacaan yang lebih besar.

Secara keseluruhan, *Vibration Meter* menunjukkan ketepatan yang cukup baik, dengan deviasi maksimal berkisar antara 0.1–0.3 Hz. Namun terdapat kecenderungan bahwa pada kecepatan rendah, *Vibration Meter* memberikan hasil sedikit lebih rendah, dan sebaliknya pada kecepatan tinggi hasilnya sedikit lebih tinggi dibandingkan *Modal Analysis*. Hal ini dapat disebabkan oleh sensitivitas sensor terhadap frekuensi eksitasi atau dinamika sistem saat beban meningkat.

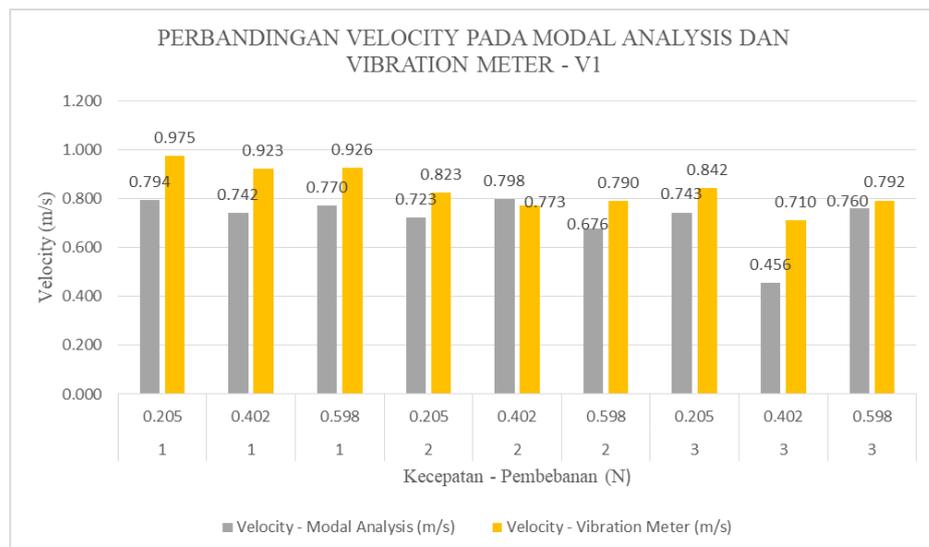
#### **4.5.3 Perbandingan Percepatan (*Velocity*) antara *Modal Analysis* dan *Vibration Meter***

Dalam analisis getaran mekanik, parameter *Velocity* atau kecepatan getaran berperan penting untuk menggambarkan energi getaran pada suatu sistem [12]. *Velocity* menjadi salah satu indikator utama dalam menilai intensitas getaran dan potensi kerusakan yang ditimbulkan. Oleh karena itu, pada bagian ini dilakukan perbandingan antara hasil *Velocity* yang diperoleh dari *Modal Analysis* berbasis simulasi dan hasil pengukuran langsung menggunakan *Vibration Meter*. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana akurasi dan kesesuaian data simulasi terhadap data lapangan. Dapat dilihat dibawah ini tabel sebagai berikut;

**Tabel 4.15** Perbandingan *Velocity Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

PERBANDINGAN VELOCITY PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V1			
Kecepatan	Beban (N)	Velocity - Modal Analysis (m/s)	Velocity - Vibration Meter (m/s)
1	0.205	0.794	0.975
1	0.402	0.742	0.923
1	0.598	0.770	0.926
2	0.205	0.723	0.823
2	0.402	0.798	0.773
2	0.598	0.676	0.790
3	0.205	0.743	0.842
3	0.402	0.456	0.710
3	0.598	0.760	0.792

Berikut ini terdapatnya grafik untuk memvisualisasikan data sebagai berikut;



**Gambar 4. 21** Perbandingan *Velocity* Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V1

Berdasarkan grafik dan tabel yang ditampilkan, dapat diamati bahwa pada umumnya nilai *Velocity* yang dihasilkan oleh *Vibration Meter* lebih tinggi dibandingkan dengan *Modal Analysis*. Pada kecepatan 1, dengan beban 0.205 N, nilai *Velocity* dari *Vibration Meter* mencapai 0.975 m/s, sedangkan dari *Modal Analysis* hanya sebesar 0.794 m/s. Hal serupa terjadi pada beban 0.402 N dan 0.598 N, di mana perbedaan nilai tetap konsisten dengan pola yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada

kecepatan rendah, *Vibration Meter* cenderung merekam nilai kecepatan getaran yang lebih tinggi, kemungkinan karena sensitivitas alat terhadap noise atau gangguan lingkungan.

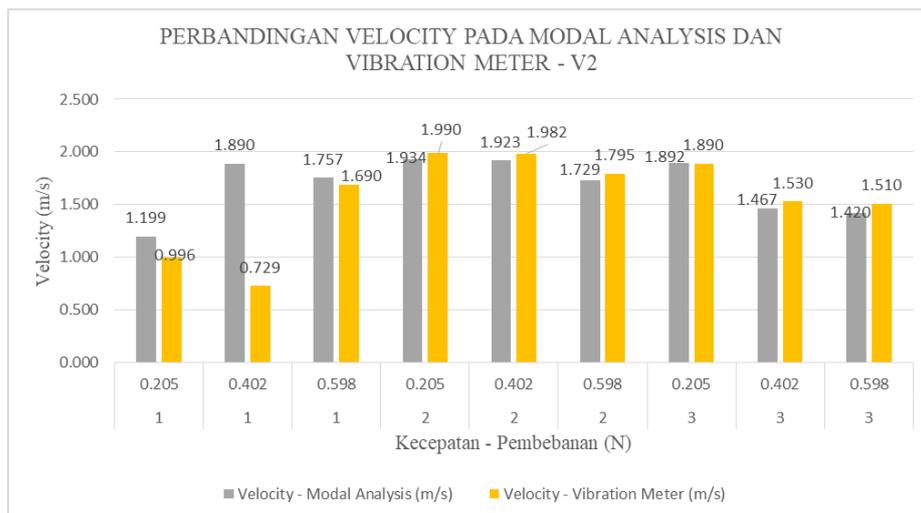
Pada kecepatan 2, selisih antara kedua metode mulai sedikit menurun, meskipun pola umum tetap menunjukkan nilai *Vibration Meter* lebih besar. Misalnya, pada beban 0.402 N, nilai dari *Modal Analysis* adalah 0.798 m/s, sementara *Vibration Meter* mencatat 0.773 m/s, yang menunjukkan hasil yang cukup mendekati. Namun, pada beban 0.598 N, kembali terlihat perbedaan yang lebih besar, yaitu 0.676 m/s dari *Modal Analysis* dan 0.790 m/s dari *Vibration Meter*.

Menariknya, pada kecepatan 3, terjadi fluktuasi yang lebih besar. Sebagai contoh, pada beban 0.402 N, hasil *Modal Analysis* sangat rendah yaitu 0.456 m/s, sementara *Vibration Meter* mencatat 0.710 m/s. Namun pada beban 0.598 N, selisih antara keduanya kembali mengecil (0.760 m/s vs 0.792 m/s). Fluktuasi ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti ketidakstabilan sistem pada kecepatan tinggi atau batasan dari metode simulasi yang digunakan.

Kemudian berikut ini pada pengukuran titik V2 yang dapat dilihat sebagai berikut;

**Tabel 4.16** Perbandingan *Velocity Modal Analysis* dan *Vibration Meter*  
Titik V2

PERBANDINGAN VELOCITY PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V2			
Kecepatan	Beban (N)	Velocity - Modal Analysis (m/s)	Velocity - Vibration Meter (m/s)
1	0.205	1.199	0.996
1	0.402	1.890	0.729
1	0.598	1.757	1.690
2	0.205	1.934	1.990
2	0.402	1.923	1.982
2	0.598	1.729	1.795
3	0.205	1.892	1.890
3	0.402	1.467	1.530
3	0.598	1.420	1.510



**Gambar 4. 22** Perbandingan *Velocity* Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V2

Pada grafik dan tabel hasil pengujian V2, terlihat adanya kecenderungan nilai kecepatan (*Velocity*) dari *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan dan beban. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada beberapa titik data, khususnya pada kecepatan 1 dan pembebanan 0.402 N, di mana *Modal Analysis* menunjukkan nilai 1.890 m/s, sedangkan *Vibration Meter* hanya menunjukkan 0.729 m/s. Ini menunjukkan adanya deviasi besar pada kondisi tersebut, yang dapat disebabkan oleh keterbatasan alat ukur atau *noise* selama pengambilan data.

Pada kecepatan 2 dan 3, hasil antara *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* cenderung lebih konsisten, dengan selisih yang lebih kecil. Misalnya, pada kecepatan 2 dan beban 0.205 N, nilai *Velocity* dari *Modal Analysis* adalah 1.934 m/s dan dari *Vibration Meter* adalah 1.990 m/s, dengan selisih yang relatif kecil sebesar 0.056 m/s. Hal serupa terjadi pada kecepatan 3 dan beban 0.205 N, di mana kedua metode menunjukkan nilai yang hampir identik, yaitu 1.892 m/s dan 1.890 m/s.

Secara umum, *Modal Analysis* memberikan hasil yang cenderung lebih stabil dan konsisten pada kecepatan tinggi, sementara *Vibration Meter* terkadang menunjukkan fluktuasi atau deviasi pada kecepatan rendah dengan beban tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa keandalan

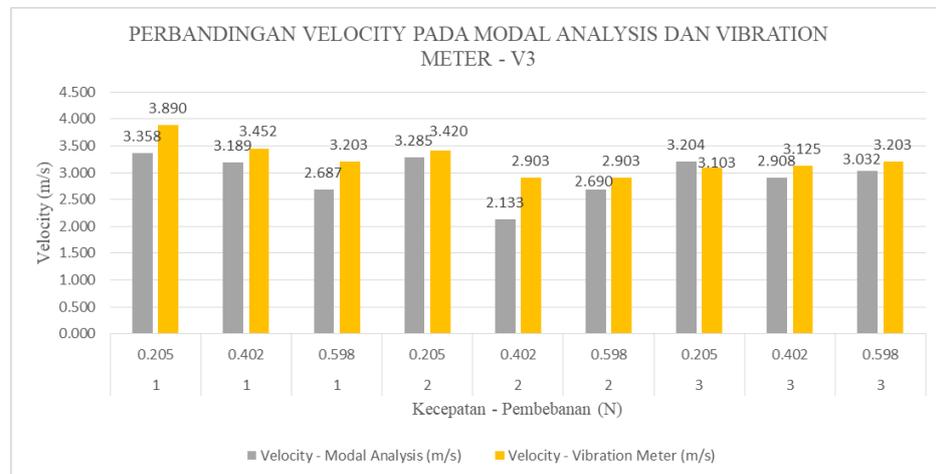
pengukuran menggunakan *Vibration Meter* dapat dipengaruhi oleh kondisi pengujian, sementara *Modal Analysis* mungkin lebih mampu mengakomodasi variasi dalam beban dan kecepatan.

Selanjutnya, pada pengukuran titik V3 yang dapat dilihat sebagai berikut;

**Tabel 4.17** Perbandingan *Velocity Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

PERBANDINGAN VELOCITY PADA MODAL ANALYSIS DAN VIBRATION METER - V3			
Kecepatan	Beban (N)	Velocity - Modal Analysis (m/s)	Velocity - Vibration Meter (m/s)
1	0.205	3.358	3.890
1	0.402	3.189	3.452
1	0.598	2.687	3.203
2	0.205	3.285	3.420
2	0.402	2.133	2.903
2	0.598	2.690	2.903
3	0.205	3.204	3.103
3	0.402	2.908	3.125
3	0.598	3.032	3.203

Juga terdapatnya grafik diagram batang untuk membantu dalam memvisualisasi data yang dapat dilihat sebagai berikut;



**Gambar 4. 23** Perbandingan *Velocity* Pada *Modal Analysis* dan *Vibration Meter* Titik V3

Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan getaran (*Velocity*) yang ditampilkan dalam tabel 4.15 dan Gambar 4.17, terlihat adanya perbedaan hasil antara dua metode pengukuran, yaitu *Modal Analysis* dan *Vibration Meter*, pada berbagai variasi kecepatan dan pembebanan.

Pada kecepatan 1, terlihat bahwa baik *Modal Analysis* maupun *Vibration Meter* mencatat penurunan *Velocity* seiring bertambahnya beban dari 0.205 N hingga 0.598 N. *Modal Analysis* mencatat penurunan dari 3.358 m/s menjadi 2.687 m/s, sementara *Vibration Meter* mencatat penurunan dari 3.890 m/s menjadi 3.203 m/s. Hal ini mengindikasikan bahwa beban berpengaruh terhadap redaman getaran, dan kedua alat mampu menangkap tren tersebut, meskipun terdapat selisih kuantitatif antar hasilnya.

Pada kecepatan 2, tren penurunan *Velocity* akibat pembebanan juga terlihat jelas, terutama pada hasil *Modal Analysis*. Nilai *Velocity* turun cukup signifikan dari 3.285 m/s pada beban 0.205 N menjadi 2.133 m/s pada beban 0.402 N. Namun, pada *Vibration Meter*, nilai *Velocity* justru relatif konstan pada 2.903 m/s meskipun beban bertambah, yang menunjukkan adanya perbedaan sensitivitas atau resolusi antar metode pengukuran. Ini bisa terjadi karena *Vibration Meter* memiliki filter atau sistem pemrosesan sinyal yang menyaring fluktuasi kecil akibat variasi beban.

Pada kecepatan 3, nilai *Velocity* pada kedua metode kembali meningkat dibanding kecepatan 2. *Modal Analysis* mencatat nilai tertinggi pada beban 0.205 N sebesar 3.204 m/s dan menurun sedikit menjadi 3.032 m/s pada beban 0.598 N. Sementara itu, *Vibration Meter* menunjukkan nilai yang lebih stabil dan cenderung meningkat, dari 3.103 m/s menjadi 3.203 m/s. Konsistensi hasil *Vibration Meter* menunjukkan bahwa alat ini cenderung memberikan hasil yang lebih konstan dibandingkan dengan *Modal Analysis*, meskipun mungkin kurang sensitif terhadap perubahan beban ringan.

Dari keseluruhan data, dapat disimpulkan bahwa meskipun kedua metode menghasilkan tren yang relatif serupa, terdapat perbedaan dalam hal sensitivitas terhadap perubahan beban dan kecepatan. *Modal Analysis* tampak lebih sensitif terhadap variasi beban, sementara *Vibration Meter* menunjukkan kestabilan hasil yang lebih tinggi. Perbedaan ini penting untuk dipertimbangkan dalam pemilihan metode pengukuran tergantung

pada kebutuhan aplikasi—apakah lebih memerlukan detail dinamika sistem seperti pada *Modal Analysis* atau hasil cepat dan stabil seperti pada *Vibration Meter*.

#### 4.6 Perbandingan *Velocity* Aktual dengan *Velocity* Teori

Pada subbab ini dilakukan analisis perbandingan antara nilai *Velocity* aktual yang diperoleh dari hasil pengukuran eksperimental dengan nilai *Velocity* teoritis yang dihitung berdasarkan pendekatan analitik atau model matematis sistem. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi metode pengukuran yang digunakan serta mengidentifikasi sejauh mana hasil eksperimen mencerminkan kondisi ideal yang diprediksi secara teori. Dengan membandingkan kedua nilai tersebut, dapat ditentukan adanya deviasi atau kesesuaian antara data lapangan dengan pendekatan teoritis, yang pada gilirannya dapat memberikan wawasan lebih dalam terhadap validitas model, keandalan alat ukur, serta pengaruh kondisi nyata terhadap dinamika sistem. Selain itu, analisis ini juga berfungsi sebagai dasar untuk penyempurnaan model atau penyesuaian parameter pengujian dalam studi-studi selanjutnya.

Berikut ini rumus *Velocity* teoritis yang dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut:

$$Velocity \text{ Teori (m/s)} = \frac{\text{Akselerasi } (\frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{2\pi \times \text{Frekuensi Dominan (Hz)}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Berikut ini rumus *Velocity* teoritis yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, digunakan untuk menghitung nilai kecepatan getaran teoritis berdasarkan pembagian nilai akselerasi terhadap  $2\pi$  dikalikan frekuensi dominan. Rumus tersebut merepresentasikan pendekatan matematis dalam menentukan besarnya kecepatan partikel akibat getaran pada sistem mekanik tertentu.

Setelah diperoleh nilai *Velocity* teoritis berdasarkan rumus tersebut, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan data *Velocity* aktual yang diperoleh dari hasil pengujian eksperimental. Nilai-nilai *Velocity* aktual dan teoritis disajikan dalam tabel di bawah ini untuk menunjukkan kesesuaian antara hasil pengukuran lapangan dengan perhitungan secara teoritik. Perbandingan ini

bertujuan untuk melihat sejauh mana nilai aktual mendekati nilai ideal yang diprediksi secara teori.

Dapat dilihat dibawah ini hasil perbandingan antara *Velocity* aktual dengan teoritis serta persentase error yang didapatkan sebagai berikut;

**Tabel 4.18** Perbandingan *Velocity* Aktual dan *Velocity* Teoritis – *Modal Analysis Testing*

PERBANDINGAN VELOCITY AKTUAL DENGAN VELOCITY TEORITIS			
MODAL ANALYSIS TESTING			
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)
V1	1	0.794	0.806
		0.742	0.764
		0.770	0.782
	2	0.723	0.766
		0.798	0.740
		0.676	0.750
	3	0.743	0.785
		0.456	0.495
		0.760	0.745
V2	1	1.199	1.236
		1.890	1.927
		1.757	1.850
	2	1.934	1.957
		1.923	1.932
		1.729	1.737
	3	1.892	1.897
		1.467	1.493
		1.420	1.465
V3	1	3.358	3.425
		3.189	3.245
		2.687	2.585
	2	3.285	3.333
		2.133	2.022
		2.690	2.646
	3	3.204	3.162
		2.908	2.866
		3.032	3.144

**Tabel 4.19** Perbandingan *Velocity* Aktual dan *Velocity* Teoritis – *Vibration Meter*

PERBANDINGAN VELOCITY AKTUAL DENGAN VELOCITY TEORITIS			
VIBRATION METER			
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)
V1	1	0.975	0.814
		0.923	0.783
		0.926	0.799
	2	0.823	0.755
		0.773	0.741
		0.790	0.706
	3	0.842	0.811
		0.710	0.624
		0.792	0.719
V2	1	0.996	1.122
		0.729	1.672
		1.690	1.605
	2	1.990	1.885
		1.982	1.763
		1.795	1.702
	3	1.890	1.829
		1.530	1.420
		1.510	1.425
V3	1	3.890	3.698
		3.452	3.358
		3.203	2.923
	2	3.420	3.312
		2.903	2.417
		2.903	2.835
	3	3.103	2.966
		3.125	2.908
		3.203	3.107

Untuk mengevaluasi tingkat ketelitian antara hasil pengukuran eksperimental dan hasil perhitungan teoritis, diperlukan analisis terhadap nilai persentase error. Persentase error digunakan sebagai indikator kuantitatif yang menunjukkan seberapa besar deviasi antara nilai *Velocity* aktual yang diperoleh dari pengujian langsung dengan nilai *Velocity* teoritis yang dihitung berdasarkan rumus atau model matematis tertentu. Dengan mengetahui besar error ini, dapat ditentukan tingkat keakuratan metode pengukuran, serta sejauh mana hasil eksperimen dapat diandalkan untuk merepresentasikan kondisi ideal

yang diprediksi secara teori. Selain itu, analisis persentase error juga penting untuk mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian atau faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi hasil pengujian, seperti variasi lingkungan, keterbatasan alat ukur, maupun asumsi dalam perhitungan teoritis. Oleh karena itu, pada bagian ini disajikan hasil perhitungan persentase error sebagai langkah lanjutan dalam proses validasi data dan penilaian performa sistem pengukuran yang digunakan.

Berikut ini dapat terdapatnya rumus persentase error yang digunakan sebagai ukuran keterbatasan serta validasi dari data sebagai berikut;

$$Error (\%) = \left| \frac{Velocity \text{ Aktual} - Velocity \text{ Teori}}{Velocity \text{ Teori}} \right| \times 100 \dots \dots \dots (4.2)$$

Selanjutnya, hasil persentase *error* pada *Modal Analysis* yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini sebagai berikut;

**Tabel 4.20** Persentase *Error* pada *Modal Analysis*

PERSENTASE ERROR MODAL ANALYSIS				
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)	Persentase Error (%)
V1	1 (1500 RPM)	0.794	0.806	1.47
		0.742	0.764	2.85
		0.770	0.782	1.50
	2 (1700 RPM)	0.723	0.766	5.61
		0.798	0.740	7.89
		0.676	0.750	9.91
	3 (1900 RPM)	0.743	0.785	5.41
		0.456	0.495	7.86
		0.760	0.745	2.05
V2	1 (1500 RPM)	1.199	1.236	3.02
		1.890	1.927	1.91
		1.757	1.850	5.04
	2 (1700 RPM)	1.934	1.957	1.20
		1.923	1.932	0.45
		1.729	1.737	0.45
	3 (1900 RPM)	1.892	1.897	0.27
		1.467	1.493	1.73
		1.420	1.465	3.04
V3	1 (1500 RPM)	3.358	3.425	1.97
		3.189	3.245	1.73
		2.687	2.585	3.96
	2 (1700 RPM)	3.285	3.333	1.44
		2.133	2.022	5.50
		2.690	2.646	1.65
	3 (1900 RPM)	3.204	3.162	1.33
		2.908	2.866	1.46
		3.032	3.144	3.56

Selanjutnya, hasil persentase error pada alat *Vibration Meter* yang dapat dilihat dibawah ini sebagai berikut:

**Tabel 4.21** Persentase *Error* pada *Vibration Meter*

PERSENTASE ERROR VIBRATION METER				
Titik Pengukuran	Level Kecepatan	Velocity Aktual (m/s)	Velocity Teoritis (m/s)	Persentase Error (%)
V1	1 (1500 RPM)	0.975	0.814	19.74
		0.923	0.783	17.90
		0.926	0.799	15.97
	2 (1700 RPM)	0.823	0.755	8.94
		0.773	0.741	4.36
		0.790	0.706	11.93
	3 (1900 RPM)	0.842	0.811	3.77
		0.710	0.624	13.76
		0.792	0.719	10.11
V2	1 (1500 RPM)	0.996	1.122	11.24
		0.729	1.672	56.39
		1.690	1.605	5.32
	2 (1700 RPM)	1.990	1.885	5.55
		1.982	1.763	12.45
		1.795	1.702	5.46
	3 (1900 RPM)	1.890	1.829	3.33
		1.530	1.420	7.73
		1.510	1.425	5.93
V3	1 (1500 RPM)	3.890	3.698	5.18
		3.452	3.358	2.81
		3.203	2.923	9.56
	2 (1700 RPM)	3.420	3.312	3.26
		2.903	2.417	20.10
		2.903	2.835	2.39
	3 (1900 RPM)	3.103	2.966	4.63
		3.125	2.908	7.47
		3.203	3.107	3.09

Analisis persentase error dilakukan untuk mengevaluasi seberapa besar deviasi antara nilai *Velocity* aktual hasil pengukuran dengan nilai *Velocity* teoritis yang dihitung menggunakan pendekatan analitis. Data dibagi berdasarkan titik pengukuran (V1, V2, V3) dan tiga level kecepatan berbeda. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa masing-masing metode pengukuran menghasilkan tingkat akurasi yang bervariasi terhadap nilai teoritis, tergantung pada titik dan level kecepatan.

Pada metode *Modal Analysis*, nilai persentase error umumnya tergolong rendah dan stabil. Di titik V1, level kecepatan 1 dan 2 menunjukkan error berkisar antara 1,47% hingga 9,91%, dengan puncak tertinggi terjadi pada *Velocity* aktual 0,676 m/s dengan error 9,91%. Di level kecepatan 3, error menurun signifikan ke kisaran 2,05%–5,41%. Ini menunjukkan bahwa pada level kecepatan rendah hingga sedang, deviasi

dari nilai teoritis sedikit lebih tinggi, kemungkinan disebabkan oleh sensitivitas pengukuran atau pengaruh noise.

Titik V2 memperlihatkan hasil yang sangat baik, dengan sebagian besar error berada di bawah 3%. Bahkan, di level kecepatan 2 dan 3, error mendekati nol dengan nilai terendah 0,27% pada *Velocity* aktual 1,892 m/s. Hal ini menandakan bahwa pengukuran pada titik V2 lebih konsisten dan mendekati kondisi ideal teoritis. Kondisi ini bisa jadi menunjukkan bahwa posisi V2 berada di area respon sistem yang paling stabil atau linier terhadap perubahan kecepatan.

Sementara itu, pada titik V3, error sedikit meningkat dibanding V2 namun tetap dalam batas wajar. Error berkisar antara 1,33% hingga 5,50%. Peningkatan error terjadi terutama pada kecepatan rendah dan menengah, sedangkan pada kecepatan tinggi nilai error kembali lebih kecil. Secara keseluruhan, metode *Modal Analysis* menunjukkan performa sangat baik dengan error yang terkendali dan relatif kecil, membuktikan akurasi sistem pengukuran yang baik terhadap perhitungan teoritis.

Sebaliknya, hasil dari metode *Vibration Meter* menunjukkan fluktuasi error yang lebih besar dan cenderung tidak konsisten. Pada titik V1, error mencapai angka tertinggi hingga 19,74% pada *Velocity* aktual 0,975 m/s. Bahkan seluruh data pada level kecepatan 1 dan 2 menunjukkan error dua digit (di atas 10%) dengan rata-rata berada di kisaran 11%–17%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada level kecepatan rendah hingga sedang, *Vibration Meter* cenderung menghasilkan deviasi yang lebih besar terhadap nilai teoritis, kemungkinan karena keterbatasan resolusi sensor pada amplitudo kecil atau kesalahan kalibrasi.

Titik V2 juga memperlihatkan inkonsistensi. Walaupun terdapat beberapa data dengan error rendah (misalnya 3,33% dan 5,55%), terdapat juga nilai error yang sangat tinggi, seperti 56,39% pada *Velocity* aktual 0,729 m/s, yang menunjukkan anomali signifikan. Hal ini menandakan bahwa pada titik V2, terutama di kecepatan rendah, terjadi kesalahan besar dalam pencatatan data atau kemungkinan sistem mengalami resonansi atau interferensi yang tidak terkontrol.

Titik V3 pada *Vibration Meter* menunjukkan performa yang relatif lebih baik dibandingkan dua titik sebelumnya. Rata-rata error berkisar antara 2,10% hingga 9,56%. Meskipun tidak sebaik hasil *Modal Analysis*, nilai-nilai ini masih dalam batas yang dapat diterima untuk pengukuran lapangan, khususnya pada kecepatan tinggi. Ini menunjukkan bahwa pada kondisi dinamis yang lebih kuat, *Vibration Meter* bekerja lebih stabil dan akurat.

Dari keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa metode *Modal Analysis* memberikan akurasi yang lebih tinggi dan konsistensi lebih baik dibandingkan *Vibration Meter*. Rentang error pada *Modal Analysis* umumnya di bawah 5%, sementara *Vibration Meter* menunjukkan fluktuasi besar, terutama pada level kecepatan rendah. Oleh karena itu, untuk pengukuran getaran yang lebih presisi dan mendekati nilai teoritis, *Modal Analysis* lebih direkomendasikan, khususnya ketika ketelitian menjadi prioritas utama dalam pengujian sistem dinamis.\

#### **4.7 Analisis Komprehensif Perbedaan Pengukuran *Modal Analysis* dan *Vibration Meter***

Penelitian ini membandingkan dua metode pengukuran getaran pada mesin berputar akibat *unbalance*: *Modal Analysis Testing* dan *Vibration Meter*. Meskipun keduanya digunakan untuk mengukur parameter getaran seperti akselerasi, *Velocity*, dan frekuensi, namun karakteristik hasil pengukurannya menunjukkan perbedaan yang signifikan dari sisi akurasi, kelengkapan data, sensitivitas, dan tujuan penggunaan.

Perbedaan Metodologi Pengukuran:

- a. *Vibration Meter* menggunakan *probe* portabel yang langsung ditempelkan ke titik pengukuran. Nilai akselerasi dan *Velocity* yang ditampilkan merupakan nilai RMS berdasarkan respon aktual saat itu juga, tanpa analisis lanjutan.
- b. *Modal Analysis Testing* menggunakan sensor akselerometer yang dihubungkan ke sistem SCADAS dan dianalisis menggunakan *Simcenter Testlab*. Data yang diperoleh kemudian dikonversi ke dalam domain

frekuensi melalui FFT, memungkinkan analisis frekuensi alami, damping ratio, dan mode *shape*.

Adapun tabel perbandingan Akselerasi ( $m/s^2$ ) dapat dilihat pada tabel dibawah ini sebagai berikut

**Tabel 4.22** Selisih Perbandingan Akselerasi – Kecepatan **1500 RPM**

Titik	Beban (N)	Vibration Meter ( $m/s^2$ )	Modal Analysis ( $m/s^2$ )	Selisih Perbandingan ( $m/s^2$ )
V1	0.205	14.7	14.66	0.04
	0.402	14.8	14.75	0.05
	0.598	15.3	15.26	0.04
V2	0.205	6.48	5.47	1.01
	0.402	6.88	5.82	1.06
	0.598	7.28	6.28	1
V3	0.205	3.4	3.53	0.13
	0.402	3.6	3.75	0.15
	0.598	3.99	4.1	0.11

**Tabel 4.23** Selisih Perbandingan Akselerasi – Kecepatan **1700 RPM**

Titik	Beban (N)	Vibration Meter ( $m/s^2$ )	Modal Analysis ( $m/s^2$ )	Selisih Perbandingan ( $m/s^2$ )
V1	0.205	15.6	15.34	0.26
	0.402	15.9	15.5	0.4
	0.598	16.01	15.7	0.31
V2	0.205	6.82	6.61	0.21
	0.402	6.9	6.8	0.1
	0.598	7.2	6.97	0.23
V3	0.205	3.7	3.65	0.05
	0.402	4.1	4.05	0.05
	0.598	4.3	4.15	0.15

**Tabel 4.24** Selisih Perbandingan Akselerasi – Kecepatan **1900 RPM**

Titik	Beban (N)	Vibration Meter ( $m/s^2$ )	Modal Analysis ( $m/s^2$ )	Selisih Perbandingan ( $m/s^2$ )
V1	0.205	15.2	15	0.2
	0.402	15.1	15	0.1
	0.598	15.8	15.65	0.15
V2	0.205	6.99	7.01	0.02
	0.402	7.08	7.13	0.05
	0.598	7.09	7.16	0.07
V3	0.205	4.4	4.3	0.1
	0.402	4.53	4.41	0.12
	0.598	4.56	4.41	0.15

Berdasarkan hasil pengujian, beberapa titik menunjukkan adanya indikasi fenomena **resonansi** yang ditandai dengan lonjakan akselerasi yang tidak linier terhadap peningkatan kecepatan dan beban. Resonansi umumnya terjadi ketika frekuensi kerja mesin mendekati frekuensi alami sistem, yang menyebabkan peningkatan amplitudo getaran secara drastis.

Titik V1 pada kecepatan 1700 RPM dan beban 0.598 N mencatat nilai akselerasi tertinggi sebesar  $16.01 m/s^2$  (*Vibration Meter*), yang lebih tinggi

dibandingkan hasil pada 1900 RPM ( $15.80 \text{ m/s}^2$ ). Padahal, secara logika linier, kecepatan yang lebih tinggi seharusnya menghasilkan getaran yang lebih besar jika tidak ada resonansi. Lonjakan ini menunjukkan bahwa kecepatan 1700 RPM mendekati salah satu frekuensi resonansi alami sistem, sehingga memicu penguatan getaran yang signifikan.

Selain itu, pada titik V2 kecepatan 1900 RPM beban 0.402 N, akselerasi terpantau cukup tinggi yaitu  $7.08 \text{ m/s}^2$ , meskipun pada beban 0.598 N justru menurun sedikit. Tren ini mengindikasikan adanya gangguan dinamika akibat resonansi parsial atau pengaruh distribusi massa yang tidak merata.

Hal serupa terjadi pada titik V3 kecepatan 1900 RPM beban 0.598 N, di mana akselerasi meningkat hingga  $4.56 \text{ m/s}^2$ , nilai tertinggi di titik tersebut dibandingkan kondisi beban dan kecepatan lainnya. Meskipun tidak setajam lonjakan di V1, tren ini juga mengarah pada kemungkinan terjadinya resonansi lokal.

Dari ketiga titik tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem mengalami resonansi paling kuat pada titik V1 di kecepatan 1700 RPM, serta resonansi parsial pada V2 dan V3 pada kecepatan 1900 RPM. Temuan ini penting sebagai pertimbangan dalam desain ulang struktur atau penyesuaian kecepatan kerja mesin untuk menghindari kondisi operasi yang mendekati frekuensi alami struktur.

**Tabel 4.25** Selisih Perbandingan Akselerasi

Titik	Selisih Perbandingan ( $\text{m/s}^2$ ) Kecepatan 1500 RPM	Selisih Perbandingan ( $\text{m/s}^2$ ) Kecepatan 1700 RPM	Selisih Perbandingan ( $\text{m/s}^2$ ) Kecepatan 1900 RPM
V1	0.04	0.26	0.2
	0.05	0.4	0.1
	0.04	0.31	0.15
V2	1.01	0.21	0.02
	1.06	0.1	0.05
	1	0.23	0.07
V3	0.13	0.05	0.1
	0.15	0.05	0.12
	0.11	0.15	0.15

Berdasarkan hasil pengukuran akselerasi dari dua alat ukur yang digunakan, yaitu Vibration Meter dan Modal Analysis Testing, ditemukan bahwa pada beberapa kondisi terdapat selisih hasil pengukuran dalam skala sangat kecil, yaitu sebesar 0,01 hingga  $0,08 \text{ m/s}^2$ . Meskipun terdapat perbedaan numerik, selisih sekecil ini tidak dapat dikatakan berpengaruh besar terhadap hasil analisis secara keseluruhan.

Secara teknis, setiap alat ukur memiliki toleransi kesalahan pengukuran (*error margin*) yang umumnya berada pada kisaran  $\pm 1\%$  hingga  $\pm 5\%$ . Jika nilai akselerasi yang diukur berkisar antara 10 hingga 16  $\text{m/s}^2$ , maka toleransi kesalahan alat dapat mencapai 0.1 hingga 0.8  $\text{m/s}^2$ . Oleh karena itu, selisih antara 0.00 hingga 0.08  $\text{m/s}^2$  masih tergolong dalam rentang toleransi normal, dan tidak dapat dianggap sebagai indikasi perubahan perilaku dinamis pada sistem.

Selain itu, dalam konteks analisis getaran mesin berdasarkan standar seperti ISO 10816, nilai akselerasi atau *velocity* dikategorikan dalam rentang batas klasifikasi. Perubahan sebesar 0.05  $\text{m/s}^2$  tidak akan menyebabkan pergeseran kategori klasifikasi kondisi mesin, dan dengan demikian, tidak mempengaruhi interpretasi teknis maupun rekomendasi hasil evaluasi.

Dari segi analisis tren, selisih kecil tersebut tidak mengubah pola utama dari grafik maupun kesimpulan tren yang terbentuk. Kedua alat tetap menunjukkan pola peningkatan nilai getaran seiring bertambahnya beban dan kecepatan mesin. Karena itu, perbedaan nilai yang hanya berskala 0,00 sekian  $\text{m/s}^2$  dianggap tidak signifikan secara praktis maupun teoritis, dan tidak memengaruhi kesimpulan utama dari pengujian.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa selisih kecil dalam pengukuran akselerasi tidak memberikan pengaruh besar terhadap analisa struktur atau kondisi mesin. Fokus utama dalam evaluasi tetap tertuju pada tren perubahan, anomali signifikan, serta perbandingan kualitatif antar titik pengukuran, bukan pada perbedaan minor yang berada dalam rentang kesalahan alat ukur.