

## Profil Respon Vibrasi Sistem Transmisi V-Belt Karena Parallel Misalignment

**Bambang Daryanto W.**

Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis  
Jurusan Teknik Mesin, FTI – ITS, Surabaya 60111  
e-mail : bambang@me.its.ac.id

### Abstrak

Telaah yang disampaikan dalam makalah ini berkenaan dengan suatu kajian eksperimental tentang profil vibrasi dari sistem transmisi V-belt, dimana terdapat parallel misalignment diantara pulley penggerak dan yang digerakkan. Studi parametrik pada eksperimen dilakukan dengan memvariasikan misalignment offset dan rasio kecepatan. Data pokok diambil pada rumah bantalan pulley yang digerakkan, dalam arah vertikal, horisontal dan aksial.

Assessment terhadap data yang diperoleh utamanya dilakukan terhadap profil frequency domain, dan didapat rangkuman hasil sebagai berikut :

- Pada pengukuran vibrasi aksial, problem parallel misalignment teridentifikasi sebagai harmonik kedua putaran pulley, yang diikuti oleh peak tinggi pada 1 x putaran poros
- Pada pengukuran vibrasi radial, efek misalignment muncul sebagai peak pada 1 x putaran poros, yang disertai oleh harmonik kedua dan ketiga
- Terjadi kecenderungan peningkatan level vibrasi overall sejalan dengan penambahan nilai offset dan dengan peningkatan kecepatan putar

Kata kunci : vibrasi, V-belt, parallel misalignment, pengukuran eksperimental

### Pendahuluan

Sistem transmisi V-belt banyak digunakan di industri, antara lain karena mudah penanganannya dan murah harganya. Fleksibilitas yang dimiliki oleh bahan V-belt menyebabkannya mampu meredam beban kejutan (*shock*). Disisi lain, hal tersebut menyebabkan V-belt rentan terhadap terjadinya amplitudo vibrasi yang relatif besar. Sistem V-belt umumnya dipakai sebagai petransmisi daya untuk menggerakkan peralatan lain, dimana dalam penggunaannya diinginkan tercapainya kondisi operasi yang baik dalam jangka waktu yang relatif lama. Akan tetapi pada kenyataannya sering terjadi ketaknormalan operasi, yang dapat disebabkan oleh berbagai hal, misalnya *misalignment (parallel, angular, twisted)*, *unbalance*, kondisi *belt* dan/atau *pulley* yang kurang baik. *Misalignment* sendiri dapat terjadi karena tidak mudahnya melakukan *assembly* untuk mendapatkan *alignment* yang sempurna. Ketaknormalan operasi tersebut bila tidak mendapatkan perhatian yang memadai akan bisa menimbulkan kegagalan / kerusakan komponen atau keseluruhan sistem, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan terganggunya siklus produksi.

Terdapat sejumlah fenomena yang dapat dipakai sebagai indikator terjadinya ketaknormalan operasi mesin, antara lain vibrasi, temperatur, kondisi pelumas. Dalam *condition monitoring*, pengukuran dan analisa sinyal vibrasi sering dilakukan untuk mendeteksi kondisi operasi mesin. Hal tersebut dikarenakan sinyal vibrasi merupakan indikator yang baik untuk mengetahui kondisi operasi mesin, dan dapat digunakan sebagai deteksi dini terhadap adanya ketaknormalan operasi. Dalam ilmu vibrasi diketahui bahwa suatu bentuk ketaknormalan akan memberikan profil atau respon vibrasi yang spesifik, yang sering disebut sebagai *vibration signature*.

Karena luasnya pemakaian sistem transmisi V-belt dan sifat sensitif V-belt terhadap eksitasi yang terjadi saat operasi, maka studi tentang karakteristik vibrasi dari V-belt senantiasa mendapatkan perhatian yang besar dari para peneliti, dengan fokus yang beragam. Moon dan Wickert (1997) melakukan penelitian tentang vibrasi yang terjadi pada V-belt akibat adanya eksentrisitas pada pulley. Efek eksentrisitas ditunjukkan pada respon *displacement*, yang pada penelitian ini dinyatakan dalam *time domain*. Pengukuran *displacement* mereka lakukan dengan menggunakan sensor optik non-kontak. Peneliti yang sama (1999) membangun model matematik vibrasi radial dari prototipe sistem transmisi V-belt dengan adanya *parallel misalignment*. Pada model yang dikembangkan, yang diverifikasi dengan

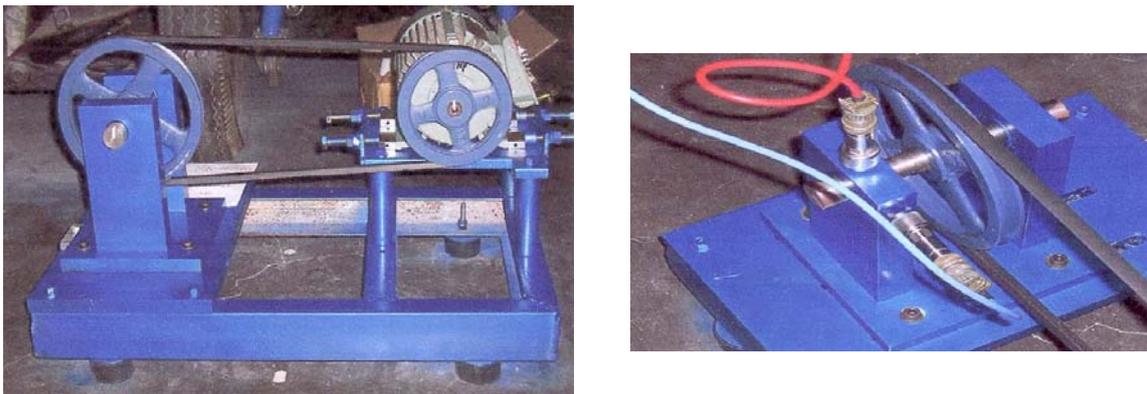
pengukuran *displacement*, efek *misalignment* dapat dimodelkan sebagai eksitasi periodik yang menimbulkan gerak dengan bentuk yang menyerupai mata gergaji (*sawtooth-like*).

Abrate (1992) membahas model matematik guna menganalisa vibrasi aksial dan longitudinal (transversal) pada *belt*. Pada makalahnya dibahas pengaruh tegangan, kecepatan, fleksibilitas, cacat pada *belt* dan *pulley* terhadap karakteristik vibrasi dari *belt*. Model matematik dari *misalignment noise* dijabarkan oleh Sheng *et al.* (2004) untuk vibrasi yang terjadi pada *V-ribbed belt* (alur majemuk) sebagai petransmisi daya dari *crankshaft* ke asesori otomotif. Model yang dikembangkan, yang diverifikasi secara empirik, dimaksudkan untuk bisa digunakan sebagai referensi dalam rangka mereduksi *noise* secara *overall*. Teknik pengukuran vibrasi transversal pada *belt* otomotif menggunakan *laser vibrometer* dipaparkan oleh Di Sante dan Rossi (2001), yang memungkinkan memilah kontribusi *belt drive noise* dari *noise* yang berasal dari sumber interferensi lain. Penelitian tentang *serpentine belt drive* yang lainnya dilakukan oleh Zhu dan Parker (2003), yang menelaah pengaruh *clutch* yang diletakkan diantara *pulley* dan poros asesori, yang berfungsi sebagai *absorber* guna mereduksi vibrasi dan memperpanjang umur *belt*.

Telaah yang disampaikan dalam makalah ini berkenaan dengan suatu kajian eksperimental terhadap sistem transmisi *V-belt* (alur tunggal), dimana terdapat *parallel misalignment* diantara *pulley* penggerak dan yang digerakkan, untuk mendapatkan profil respon vibrasi yang terjadi dengan adanya *misalignment* tersebut. Pada pengujian yang dilakukan, studi parametrik dilaksanakan dengan memberi variasi terhadap nilai *misalignment offset* dan rasio kecepatan diantara *pulley* yang digerakkan dengan penggerak.

## Metodologi

Eksperimen dilakukan pada sebuah *test bed* dengan posisi *pulley* penggerak (*drive*) yang tetap, sedangkan *pulley* yang digerakkan (*driven*) dapat digeser sepanjang porosnya untuk memberikan efek *parallel misalignment*. Untuk mendapatkan peningkatan maupun penurunan tingkat kecepatan, pada eksperimen yang dilakukan digunakan *driven pulley* dengan diameter (4 dan 8 inch) yang berbeda dengan diameter *drive pulley* (6 inch). *Pulley* yang digunakan adalah dari tipe NBK A1 dengan alur tunggal, sedangkan *belt* yang digunakan adalah *commercial belt* berpenampang trapesium yang terbuat dari bahan karet. *Drive pulley* bersifat *overhung*, sedangkan *driven pulley* diletakkan diantara dua tumpuan (*bearings*). Jarak antar pusat poros *pulley* adalah 45 cm (17.72 inch). Sebagai penggerak utama dipakai motor listrik (*non-variable speed*) yang dihubungkan langsung dengan *drive pulley*. Dudukan motor dapat digeser untuk mengatur tegangan *belt*, sehingga didapat nilai tegangan yang tepat sesuai ketentuan. *Test bed* dipasang dilantai, dimana diantara *base frame* dengan lantai diberi bantalan karet.

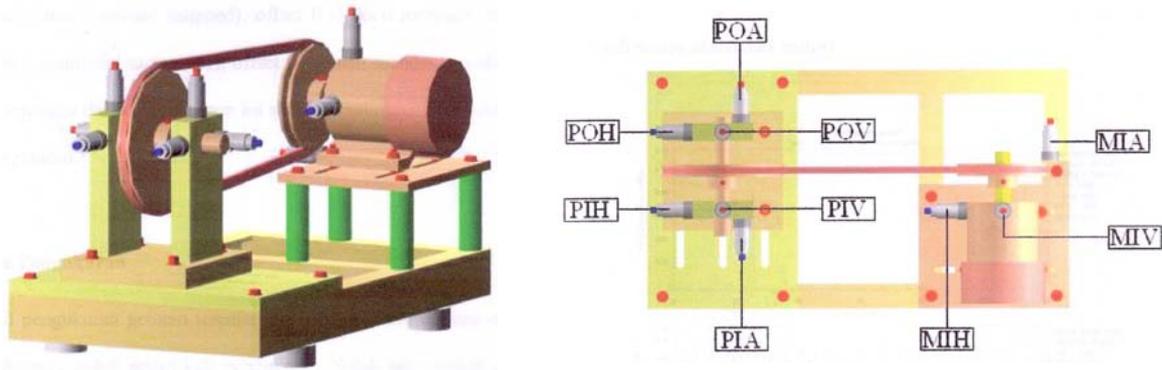


Gambar 1. Test Bed dan Sensor

Pengambilan data vibrasi dilakukan untuk setiap *setting* yang dilaksanakan, yaitu untuk nilai *offset* tertentu (0, 0.15, 0.30 inch) dengan peningkatan atau penurunan rasio kecepatan. Dalam pelaksanaan eksperimen, pengambilan data untuk setiap *offset* dilakukan untuk posisi *driven pulley* yang digeser ke arah *outboard* dan ke arah *inboard*. Hasil pengukuran, baik untuk posisi menjauh ataupun mendekati motor, memberikan sinyal vibrasi yang tidak banyak berbeda.

Data utama, yang diambil sesudah motor dijalankan untuk satu *setting* tertentu, berasal dari rumah bantalan *driven pulley* dengan tiga arah pengambilan data : vertikal, horisontal dan aksial. Karena pola pengambilan data yang dilakukan untuk setiap *setting*, maka volume data yang dicatat relatif besar. Contoh tipikal yang ditampilkan pada makalah ini adalah sebagian dari keseluruhan data pengukuran yang diambil.

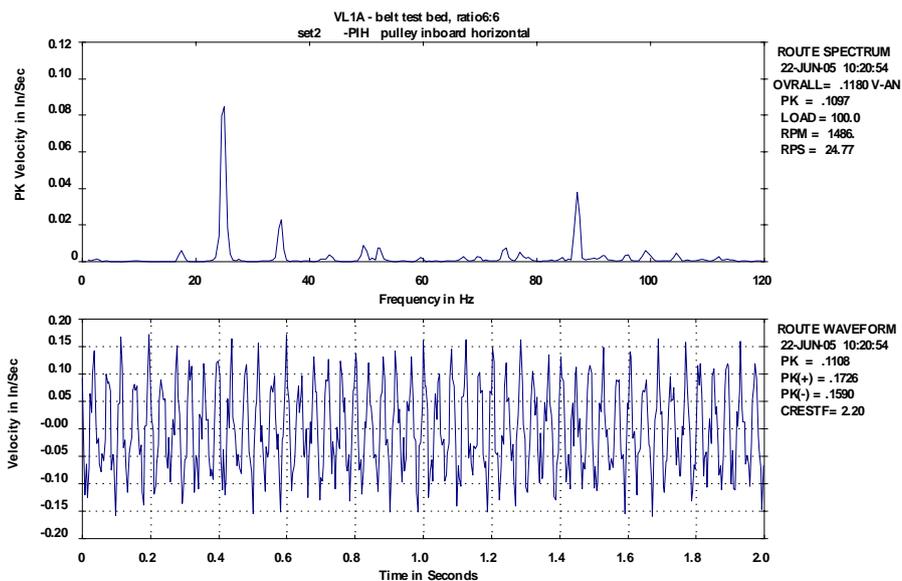
Sebagai alat ukur (dan sekaligus alat rekam) vibrasi dipakai CSi 2120A, *2-channel vibration analyzer*. Data vibrasi dapat dinyatakan dalam *frequency domain*, disamping dalam bentuk *wave form (time domain)*. Sebagai sensor pencatat vibrasi dipakai *accelerometer* dengan dudukan magnetik. Sensor bersifat *portable*, peletakkannya dapat dipindah-pindah sesuai dengan titik pengukuran yang dikehendaki.



Gambar 2. Skema Posisi Pengukuran

### Hasil dan Analisa

Hasil pengukuran vibrasi tercatat dalam bentuk grafik *time domain* dan *frequency domain* untuk setiap kali pengukuran. Kedua tampilan tersebut dimungkinkan karena *analyzer* yang dipakai pada eksperimen ini dilengkapi dengan prosedur *FFT*, yang mampu mengkonversi grafik fungsi waktu ke grafik fungsi frekuensi. Salah satu contoh grafik hasil pengukuran (diambil untuk PIH dengan *mis-alignment* 0.15 inch) disampaikan pada gambar berikut. *Assessment* terhadap kondisi peralatannya didasarkan pada profil grafik *frequency domain*, sebagaimana kelaziman yang diterapkan untuk mesin berputar.



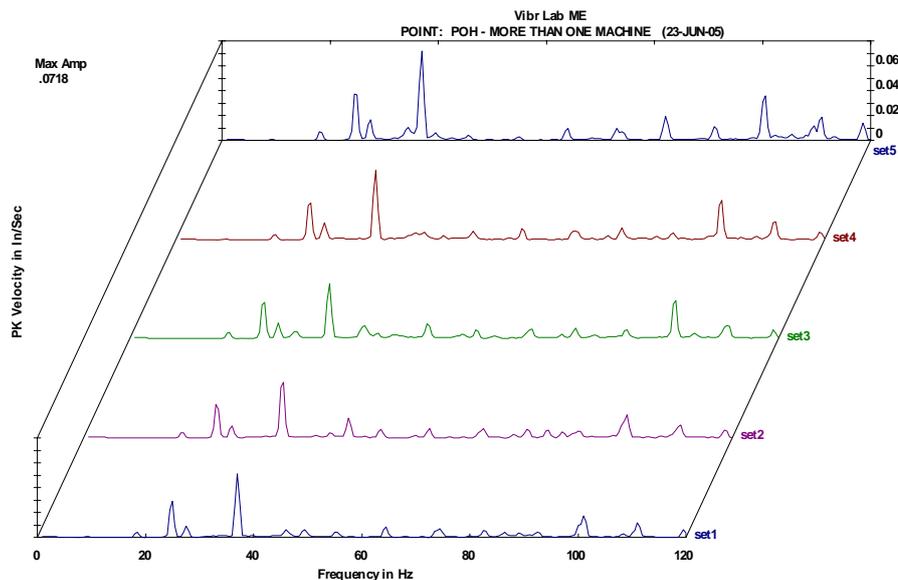
Gambar 3. Grafik frequency- dan time- domain

Perolehan data amplitudo kecepatan vibrasi untuk masing-masing *setting* eksperimen ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel I. Amplitudo Kecepatan Vibrasi

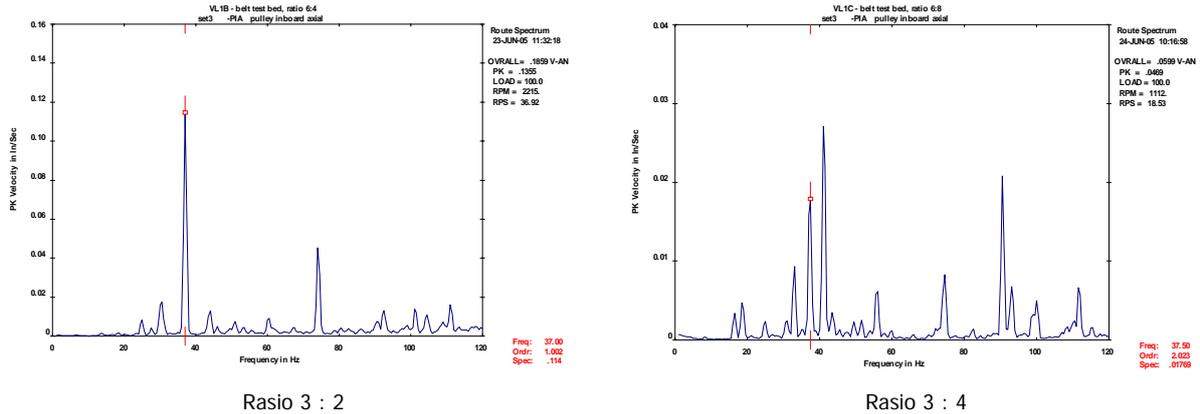
Pengukuran	Amplitudo Kecepatan (in./sec.)				
	Normal (Aligned)	Rasio Kecepatan 3 : 2		Rasio Kecepatan 3 : 4	
		M = 0.15 in.	M = 0.30 in.	M = 0.15 in.	M = 0.30 in.
PIV	0.0287	0.0353	0.0423	0.0318	0.0328
PIH	0.0918	0.1150	0.1222	0.0982	0.1062
PIA	0.1053	0.1713	0.1859	0.1152	0.1224
POV	0.0296	0.0420	0.0492	0.0304	0.0317
POH	0.0712	0.0969	0.0987	0.0945	0.0964
POA	0.0893	0.1525	0.1906	0.0966	0.1004

Level vibrasi arah horisontal yang lebih tinggi dari pada arah vertikal disebabkan oleh konstruksi dudukan *driven pulley* yang menyerupai *cantilever beam*, yang dengan demikian memberikan fleksibilitas yang lebih dalam arah horisontal. Dari tabel juga teridentifikasi terjadinya peningkatan level vibrasi *overall* sebagai akibat adanya *parallel misalignment*. Peningkatan tersebut lebih nyata teramati pada kondisi dimana terjadi kenaikan kecepatan putar poros (rasio 3:2). Kecenderungan peningkatan level vibrasi terjadi sejalan dengan penambahan nilai *offset* maupun dengan peningkatan kecepatan putar. Sebagai gambaran komparatif efek *misalignment*, berikut ditampilkan grafik sinyal vibrasi horisontal (POH) untuk kondisi *aligned* (grafik terdepan), dengan *misalignment* 0.15 inch (grafik ke dua untuk *outboard offset*, dan grafik ke empat untuk *inboard offset*), dan dengan *misalignment* 0.30 inch (grafik ke tiga untuk *outboard offset*, dan grafik ke lima untuk *inboard offset*).



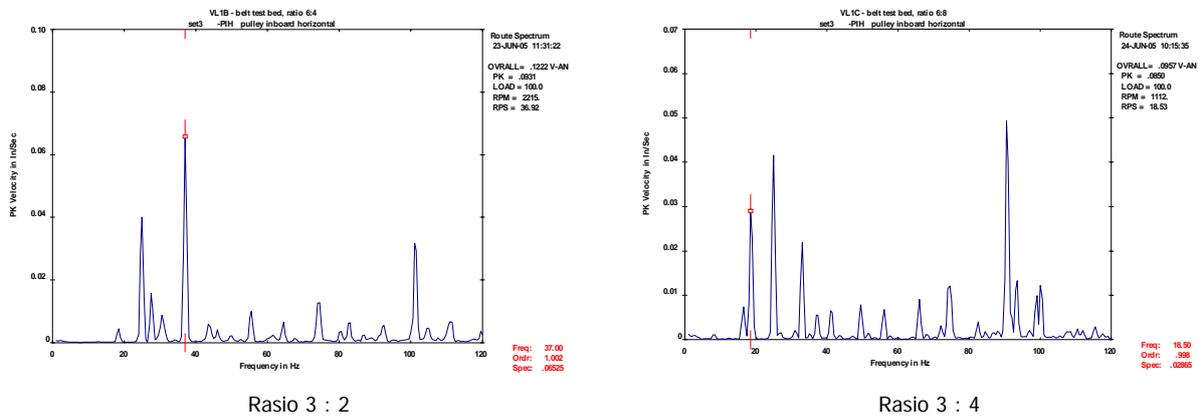
Gambar 4. Pengaruh Misalignment Pada Respon Vibrasi

Pada pengukuran vibrasi aksial dari *driven pulley*, problem *parallel misalignment* teridentifikasi sebagai harmonik kedua putaran *pulley* (75 Hz pada rasio 3:2 dan 37.5 Hz pada rasio 3:4), yang disertai oleh *peak* tinggi pada 1 x putaran poros. Dalam eksperimen ini tercatat level vibrasi arah aksial yang lebih tinggi dari pada arah radial.



Gambar 5. Vibrasi Aksial

Pada pengukuran vibrasi radial dari *driven pulley*, efek *misalignment* muncul sebagai *peak* pada 1 x putaran poros (37.5 Hz pada rasio 3:2 dan 18.75 Hz pada rasio 3:4), yang disertai oleh harmonik kedua dan ketiga.



Gambar 6. Vibrasi Radial

### Belt Pass Frequency

Dalam analisa vibrasi sistem transmisi *belt* perlu ditengarai frekuensi tertentu yang disebut sebagai *Belt Pass Frequency (BPF)*, yang formulanya adalah :

$$BPF = (\pi \times PD \times rpm) / BL$$

dimana

- PD : diameter pulley
- rpm : putaran pulley
- BL : panjang belt

Dalam eksperimen ini *BPF* tersebut bernilai sekitar 8.8 Hz untuk kasus dengan peningkatan kecepatan dan sekitar 7.9 Hz untuk kasus dengan penurunan kecepatan.

Pada pengukuran vibrasi yang dilakukan tercatat harmonik 2, 3 dan 4 dari *BPF* yang muncul sejak kondisi *aligned*. Hal tersebut mengindikasikan operasi transmisi yang kurang sempurna, yang didiagnosa disebabkan oleh proses *assembly* yang kurang baik.

Disamping itu teridentifikasi munculnya frekuensi sekitar 100 Hz (*2 x line frequency*), yang memunculkan dugaan terdapat ketaknormalan pada kondisi motor yang efeknya terbawa ke operasi transmisi *V-belt*. (Kondisi motor yang kurang baik telah diverifikasi dengan cara melakukan pengukuran vibrasi pada operasi motor saja.)

## Konklusi

Diagnosa yang dilakukan terhadap profil sinyal vibrasi, yang didapat dari pengukuran vibrasi rumah bantalan *driven pulley*, pada *test bed* prototipe sistem transmisi daya *V-belt* (alur tunggal) menghasilkan sejumlah kesimpulan sebagai berikut :

- Pada vibrasi aksial, problem *parallel misalignment* teridentifikasi sebagai harmonik kedua putaran *pulley*, yang diikuti oleh *peak* yang tinggi pada 1 x putaran poros.
- Pada vibrasi radial, efek *misalignment* muncul sebagai *peak* pada 1 x putaran poros, yang disertai oleh harmonik kedua dan ketiga.
- Terjadi kecenderungan peningkatan level *overall* vibrasi sejalan dengan penambahan nilai *misalignment* dan dengan peningkatan kecepatan putar.
- Tercatat munculnya harmonik 2, 3, 4 dari *belt pass frequency* yang mengindikasikan operasi transmisi yang kurang sempurna, yang didiagnosa disebabkan oleh proses *assembly* yang kurang baik.

Hasil analisa terhadap karakteristik vibrasi sistem transmisi *V-belt* akibat adanya *parallel misalignment*, yang berasal dari investigasi yang dilakukan, diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu acuan bagi pengguna atau pihak yang berkepentingan dengan sistem transmisi *V-belt*.

## Daftar Pustaka

- Abrate, A.S. (1992), "Vibration of Belts and Belt Drives", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 27, pp. 645-659
- Basaraba, B.M., and J.A. Archer (2000), *Rotating Equipment Handbook : Machinery Reliability & Condition Monitoring*, IPT Publishing and Training Ltd., Edmonton, Canada
- Di Sante, R., and G.L. Rossi (2001), "A New Approach to the Measurement of Transverse Vibration and Acoustic Radiation of Automotive Belts Using Laser Doppler Vibrometry and Acoustic Intensity Techniques", *Measurement Science and Technology*, vol. 12, pp. 525-533
- Moon, J., and J.A. Wickert (1997), "Non-linear Vibration of Power Transmission Belts", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 200, pp. 419-431
- Moon, J., and J.A. Wickert (1999), "Radial Boundary Vibration of Misaligned V-Belt Drives", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 225, pp. 527-541
- Sheng, G., K. Liu, J. Otramba, J. Pang, M. Qatu, and R. Dukkipati (2004), "A Model and Experimental Investigation of Belt Noise in Automotive Accessory Belt Drive System", *Int. J. Vehicle Noise and Vibration*, vol. 1, pp. 68-80
- Zhu, F., and R.G. Parker (2003), "Non-linear Dynamics of One-way Clutches in Belt-Pulley Systems", [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)