

## Studi Karakteristik Penjalaran Gelombang Emisi Akustik untuk Penentuan Metode Prediksi Lokasi Sumber Emisi

Wahyu Nirbito<sup>1\*</sup>, Raka Cahya Pratama<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Laboratorium Perancangan Sistem Mekanikal dan Biomekanikal

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424

\*e-mail: [wahyu.nirbito@ui.ac.id](mailto:wahyu.nirbito@ui.ac.id)

### Abstrak

Deteksi emisi akustik dilakukan untuk menjawab kebutuhan akan tanda-tanda kerusakan sedini mungkin pada komponen mesin. Emisi akustik sendiri merupakan pelepasan energi gelombang tegangan pada saat deformasi awal yang menjadi indikator kerusakan skala mikro komponen mesin, yang tidak dapat dideteksi dengan metode lain. Namun, perkembangan deteksi emisi akustik menjadi lamban karena sulitnya melakukan reka ulang proses penjalaran gelombang emisi akustik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik penjalaran gelombang emisi akustik berupa hubungan pengurangan amplitudo dan waktu penjalaran terhadap frekuensi sumber emisi untuk kemudian dilakukan analisis kualitatif terhadap kehandalan metode prediksi lokasi sumber emisi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pelat baja tahan karat SS 304 serta digunakan 2 buah elemen piezoceramic PZT yang masing-masing bertindak sebagai aktuator dan sensor emisi akustik pada permukaan pelat tersebut. Regangan aktuator dibangkitkan dari sinyal yang berasal dari *function generator* berupa sinyal *square*, sinusoidal dan *triangle*, sedangkan sinyal yang berasal dari regangan sensor diakuisisi oleh osiloskop. Gelombang emisi akustik mulai dapat dideteksi pada frekuensi 180 kHz pada bentuk sinyal penjalaran sinusoidal dan *triangle*, sedangkan untuk sinyal penjalaran *square* mulai pada frekuensi 1 Hz. Perbedaan hasil ini dikarenakan pada sinyal penjalaran *square*, sinyal diinterpretasikan sebagai sinyal impuls siklik, yang mana sinyal impuls bekerja pada rentang waktu yang sangat singkat atau dengan kata lain frekuensi yang sangat tinggi. *Sampling rate* pengukuran minimum yang dibutuhkan untuk dapat menangkap gelombang emisi akustik adalah 50 MS/s untuk ketiga bentuk sinyal penjalaran. Rasio amplitudo sinyal yang ditangkap terhadap amplitudo sinyal yang dibangkitkan bersifat non linear terhadap frekuensi sinyal penjalaran dan cenderung meningkat pada peningkatan frekuensi, sedangkan, waktu penjalaran gelombang cenderung lebih kecil pada peningkatan frekuensi. Kedua hasil ini mengindikasikan bahwa pengurangan amplitudo cenderung mengecil dan gelombang menjalar lebih cepat pada frekuensi sinyal yang lebih tinggi. Hal ini diprediksi akibat adanya peningkatan kecepatan transmisi molekuler yang disebabkan oleh semakin singkatnya proses penyerapan energi gelombang. Evaluasi kehandalan metode prediksi lokasi sumber emisi akustik dilakukan terhadap 5 m etode prediksi lokasi sumber emisi yang umum digunakan (*time of arrival*, energi, *cross-correlation*, zonal, dan *geodesic*) dengan memperhatikan aspek akurasi (ketergantungan terhadap pengurangan amplitudo dan waktu penjalaran), tingkat kesulitan komputasi dan biaya operasional aplikasi metode tersebut. Metode zonal menjadi metode yang paling handal, namun biaya operasional yang diperlukan juga sangat besar. Oleh karena itu, metode *time of arrival* bersama metode energi menjadi metode alternatif yang cukup handal dan layak dikembangkan untuk dapat menggantikan metode zonal.

**Keywords:** penjalaran gelombang, emisi akustik, pengurangan amplitudo, waktu penjalaran, metode prediksi lokasi sumber emisi

### Pendahuluan

Pada sistem pemeliharaan mesin yang tingkatannya lebih tinggi daripada preventif, dibutuhkan kemampuan untuk memprediksi kerusakan sebelum kerusakan itu terjadi. Teknik memprediksi kerusakan dini pada elemen mesin yang dinamis melalui deteksi gelombang tegangan telah dikembangkan Lees (2011), Mehrjou (2011), Al-Balushi (2010), Al-Dossary (2009), Nirbito (2004, 2005, 2011) dan Tandon (1999).

Gelombang tegangan menjalar dari dilepaskannya energi dalam struktur material elemen mesin akibat terjadinya disintegrasi molekuler atau mikroskopik sebagai cikal bakal timbulnya kerusakan. Gelombang tegangan ini menjalar sebagai emisi akustik (*Acoustic Emission=AE*). Dengan dapat dideteksinya AE ini, maka dapat ditentukan atau diprediksi terjadinya kerusakan dini jauh sebelum terjadi kerusakan fisik bahkan sebelum terjadinya retakan awal kelelahan (*fatigue initial crack*).

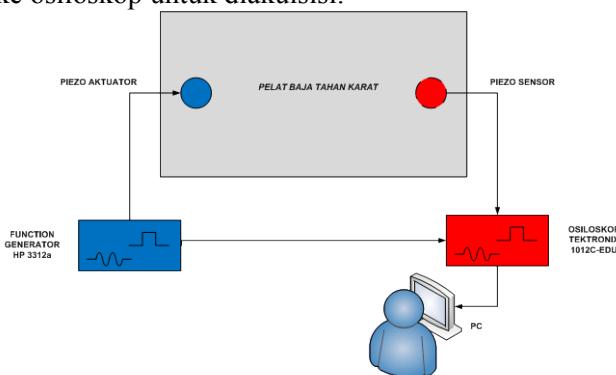
Walaupun sudah dapat diterapkan pada berbagai komponen, teknik ini sampai sekarang masih terus berkembang dan menemui berbagai tantangan atau permasalahan dalam pengembangannya. Tantangan pengembangan teknik analisis gelombang AE tersebut dari aspek analisis sinyal AE diantaranya adalah:

- Penggunaan metode *baseline* (penentuan kerusakan dilakukan dengan cara membandingkan kondisi akhir dengan kondisi awal mesin) yang mengasumsikan kondisi awal mesin adalah tanpa kerusakan (Grosse, 2008), masih diperdebatkan penggunaannya oleh berbagai peneliti karena di satu sisi mudah dilakukan namun di sisi lain tidak dapat menjelaskan kerusakan dini pada komponen mesin.
- Tingkat kerusakan mesin ditentukan oleh besarnya gelombang AE bebas *noise* yang terukur dan bukan hasil reka ulang penjalaran gelombang dari sumbernya (Naber, 2007).
- Belum dapat dimiliki keseragaman penentuan lokasi sumber AE, walaupun saat ini banyak penelitian dikembangkan dalam basis waktu penjalaran pembacaan beberapa sensor kemudian dilakukan triangulasi, sebagaimana dilakukan oleh Baxter (2007), Lympertos (2007) dan Scholey (2009).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk dapat mengetahui karakteristik penjalaran gelombang AE pada suatu model komponen mesin (berupa pelat baja tahan karat) sehingga dapat menjawab berbagai tantangan yang dipaparkan di atas, khususnya mengenai karakteristik pengurangan amplitudo dan karakteristik waktu propagasi sehingga dapat membuat kesimpulan berupa prediksi teknik penentuan lokasi sumber AE yang paling handal secara kualitatif.

## Metode Eksperimen

Eksperimen dilakukan sebagaimana dijelaskan pada Gambar 1. *Function Generator* membangkitkan sinyal listrik yang kemudian diubah menjadi gerak mekanik oleh piezo aktuator, selain itu, sinyal ini juga dikirim ke osiloskop untuk diakuisisi.



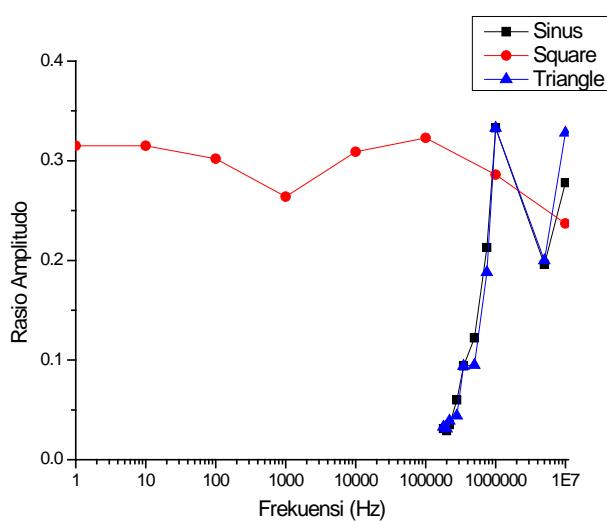
Gambar 1. Setup Eksperimen

Kemudian, pelat baja tahan karat (ukuran 450 mm x 300 mm x 30 m m) menjalankan gerak ini sebelum akhirnya juga ikut menggerakkan piezo sensor. Kemudian piezo sensor mengubah gerak mekanik menjadi sinyal listrik untuk kemudian ditangkap oleh osiloskop. Osiloskop menampilkan dan mengakuisisi kedua sinyal yang diterimanya (dari *function generator* dan dari piezo sensor). Data sinyal ini kemudian dikirim ke PC dengan menggunakan koneksi USB, dan kemudian disimpan sebagai data mentah (berupa gambar dan file format .csv). *Function Generator* yang digunakan adalah HP seri 3312a yang memiliki *range* frekuensi 0.01 Hz sampai dengan 13 MHz, serta dilengkapi 3 pilihan fungsi penjalaran, yaitu sinusoidal, square dan triangle. Osiloskop yang digunakan adalah Tektronix 1012C-EDU, memiliki *range sampling rate* dari 1 S/s sampai dengan 1 GS/s.

## Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengambilan data, diperoleh hubungan antara frekuensi penjalaran dan *sampling rate* dimana AE dapat dideteksi pada setiap fungsi penjalaran. Yang dimaksud fungsi penjalaran sendiri adalah fungsi sinyal yang dibangkitkan dari *function generator*, yang kemudian diubah menjadi pergerakan mekanik oleh piezo aktuator sebagai pemodelan dari berbagai sumber AE yang mungkin muncul. AE sudah dapat dideteksi pada frekuensi penjalaran 1 Hz dan pada *sampling rate* 50 MS/s untuk fungsi penjalaran *square*, sedangkan untuk penjalaran fungsi sinusoidal dan *triangle*, AE baru dapat dideteksi pada frekuensi penjalaran 180 kHz dan pada *sampling rate* 50 MS/s. Perbedaan hasil ini dikarenakan pada sinyal penjalaran *square*, sinyal diinterpretasikan sebagai sinyal impuls siklik, yang mana sinyal impuls bekerja pada rentang waktu yang sangat singkat atau dengan kata lain frekuensi yang sangat tinggi. Melihat *sampling rate* yang sangat besar untuk dapat mendeteksi AE, dapat diketahui bahwa gelombang AE termodulasi pada frekuensi yang sangat tinggi.

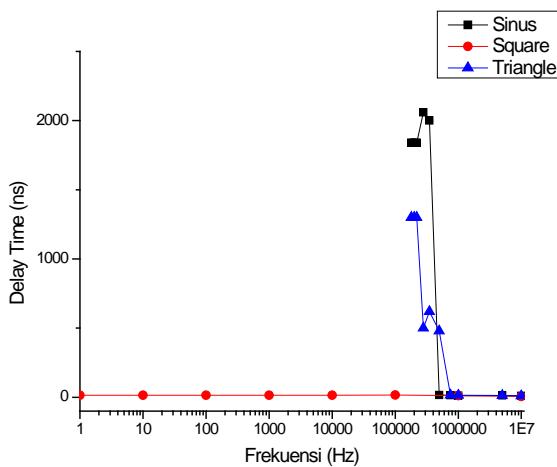
Gambar 2 menjelaskan bagaimana hubungan antara frekuensi penjalaran terhadap rasio amplitudo sinyal yang ditangkap dengan yang dibangkitkan pada masing-masing fungsi penjalaran. Fluktuasi nilai mungkin terjadi akibat dari karakteristik frekuensi pribadi dari pelat yang mungkin menyebabkan terjadinya resonansi pada rentang frekuensi tertentu. Walaupun demikian, rasio amplitudo cenderung meningkat pada frekuensi yang lebih tinggi.



**Gambar 2.** Rasio amplitudo pada setiap frekuensi penjalaran pada masing-masing fungsi penjalaran

Karakteristik amplitudo ini perlu diperhatikan karena penjalaran gelombang tidak hanya fungsi jarak sensor ke sumber, namun juga sebagai fungsi frekuensi, sehingga proses reka ulang penjalaran gelombang yang menjadi dasar penentuan ukuran sumber AE perlu memperhatikan frekuensi dari gelombang yang ditangkap serta frekuensi pribadi dari komponen atau konstruksi yang menjadi objek pengukuran.

Sebagaimana dapat terlihat pada Gambar 3, waktu penjalaran memiliki karakteristik yang tidak konstan, walaupun memiliki kecenderungan untuk berkurang seiring peningkatan frekuensi.



**Gambar 3.** Hubungan Waktu Penjalaran terhadap Frekuensi

Meningkatnya rasio amplitudo dapat dimaknai bahwa nilai amplitudo sinyal yang ditangkap memiliki nilai yang mendekati nilai amplitudo sinyal yang dibangkitkan atau dengan kata lain pengurangan amplitudo menjadi lebih kecil. Di sisi lain, waktu

penjalaran yang lebih kecil pada frekuensi yang tinggi dapat dimaknai sebagai peningkatan kecepatan penjalaran gelombang AE. Kedua hal ini dimungkinkan akibat terjadinya kenaikan kecepatan transmisi dari molekul-molekul material karena semakin singkatnya proses penyerapan energi dari gelombang yang menjalar. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memverifikasi hal ini.

Analisis terhadap metode penentuan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan hasil karakterisasi yang telah dibahas sebelumnya di atas. Lima metode penentuan lokasi sumber AE akan dibahas kehandalannya pada bagian ini berdasarkan metode yang umum digunakan menurut Muravin (2008).

a. Metode *Time of Arrival*

Metode *Time of Arrival* dengan menggunakan waktu *delay* sinyal yang ditangkap sensor terhadap sinyal sumber. Dibutuhkan minimal 2 sensor untuk mengetahui lokasi sumber AE. Metode ini menggunakan prinsip triangulasi, yaitu dengan mengetahui jarak sumber terhadap setiap sensor. Dari karakteristik waktu *delay* terhadap frekuensi penjalaran, waktu *delay* tidak linear pada rentang frekuensi tertentu (utamanya frekuensi tinggi). Hal dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan lokasi saat frekuensi sumber AE yang terukur sangat tinggi. Walaupun metode ini efektif untuk rentang frekuensi yang menyebabkan waktu *delay* linear. Dari aspek karakteristik amplitudo sinyal, tidak berpengaruh pada metode ini karena tidak menggunakan nilai besaran sinyal sebagai parameter penentuan lokasi.

b. Metode Energi

Metode Energi dengan membandingkan energi AE yang terukur oleh sensor. Untuk properti konstanta pengurangan material yang belum diketahui, dibutuhkan minimal 3 sensor untuk mengetahui lokasi sumber. Metode ini memiliki kesamaan dengan metode *Time of Arrival* yaitu dengan melakukan triangulasi terhadap jarak sensor ke sumber. Namun, metode ini justru sama sekali tidak membutuhkan waktu *delay* dan hanya membutuhkan parameter amplitudo. Kelebihan metode ini adalah langsung dapat menentukan lokasi dan ukuran sumber secara sekaligus sehingga efektivitas pengukuran menjadi lebih tinggi. Kekurangan metode ini, yaitu harus memperhatikan frekuensi pribadi dari konstruksi, yang mana merupakan hal yang sulit untuk elemen-elemen mesin dinamis, karena pengurangan amplitudo bersifat tidak linear terhadap frekuensi. Selain itu, metode ini juga memerlukan penerapan *threshold* dan perhitungan numerik yang cukup memakan

waktu pada sinyal yang cukup panjang.

c. Metode *Cross-Correlation*

Metode *Cross-Correlation* dengan menerapkan *cross-correlation* terhadap dua sinyal yang ditangkap oleh sensor. Metode ini adalah sebagai pengembangan metode Time of Arrival. Metode *cross-correlation* memerlukan komputasi yang cukup lama, selain itu, mengingat waktu *delay* yang sangat kecil dan tidak linear, maka tidak cukup baik untuk digunakan. Metode *cross-correlation* juga akan menemui kesulitan, karena amplitudo juga memiliki karakteristik yang tidak linear. Besarnya *noise* yang berubah-ubah juga dapat membuat kesalahan pada saat perhitungan. Kesalahan relatif dapat terjadi akibat dari penerapan *threshold*. Hal ini dikarenakan metode ini menggabungkan parameter amplitudo dan waktu *delay* antara sinyal yang ditangkap oleh sensor-sensor, sehingga amplitudo yang terlalu kecil atau terlalu besar dapat membuat hasil penentuan lokasi yang salah.

d. Metode Zonal

Metode Zonal dengan cara menempatkan sejumlah sensor AE untuk menangkap sinyal. Sinyal AE terbesar yang ditangkap oleh suatu sensor menjadikan zona sensor tersebut sebagai lokasi sumber AE. Metode ini sudah menjadi standar bagi beberapa negara seperti Perancis dan Amerika untuk pengujian kebocoran pada bejana tekan (Richart, 1970). Metode ini sangat baik untuk dapat mengetahui lokasi sumber dan ukuran sumber AE serta mampu mengeliminir kesulitan-kesulitan yang ditemui akibat karakteristik non linear dari berbagai parameter yang digunakan. Satu-satunya kekurangan metode ini, namun menjadi kekurangan yang vital, adalah dibutuhkan jumlah sensor yang banyak dan ruang yang cukup besar untuk penempatan sensor. Hal ini menyebabkan tingginya biaya operasional untuk aplikasi dari metode ini.

e. Metode *Geodesic*

Metode *Geodesic* merupakan turunan dari metode *time of arrival* yaitu dengan pendekatan jalur terpendek yang mungkin dicapai suatu *mesh* objek dengan menggunakan prinsip energi minimum (Prasana, 2007). Metode ini dilakukan dengan menggunakan algoritma penjalaran *crack* pada suatu material. Metode ini sangat baik untuk bentuk-bentuk yang kompleks, namun komputasi yang dilakukan sangat rumit dan memakan waktu.

Sebagai metode turunan *Time of Arrival*, metode ini juga memiliki kendala akibat dari waktu *delay* yang sangat cepat dan tidak linear, sehingga kurang akurat. Dari aspek karakteristik pengurangan amplitudo, metode ini juga dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan lokasi dan ukuran sumber dikarenakan bentuk-bentuk yang kompleks memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang membuat laju perubahan tegangan menjadi tinggi (frekuensi tinggi) dan dari hasil karakterisasi sebelumnya membuat pola pengurangan menjadi tidak linear dan sulit diprediksi. Penerapan *threshold* dapat menjadi masalah lain pada metode ini, dikarenakan kompleksitas bentuk dan *mesh* membuat interaksi molekuler menjadi berubah-ubah, *threshold* pun sulit ditentukan.

Rangkuman kehandalan dari setiap metode penentuan lokasi sumber AE dapat dilihat pada Tabel 1.

## Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa Gelombang AE baru dapat dideteksi pada frekuensi penjalaran 180 kHz untuk fungsi penjalaran sinusoidal dan *triangle*, sedangkan pada fungsi penjalaran *square*, gelombang AE sudah dapat dideteksi dari frekuensi 1 Hz. Perbedaan hasil ini adalah akibat gelombang *square* diterima material sebagai impuls siklik yang memiliki frekuensi sangat tinggi. Karakteristik pengurangan amplitudo dan waktu penjalaran bersifat non linear terhadap frekuensi penjalaran serta cenderung mengecil. Hal ini dimungkinkan akibat dari adanya kenaikan kecepatan transmisi molekuler karena semakin singkatnya proses penyerapan energi dari gelombang yang menjalar.

Metode zonal adalah metode yang paling akurat dalam menentukan lokasi dan ukuran sumber AE, namun biaya operasional yang diperlukan juga sangat besar. Metode *Time of Arrival* bersama dengan metode energi menjadi metode alternatif yang cukup handal walaupun memiliki batasan-batasan pengukuran operasional.

Karakterisasi penjalaran AE sebagai fungsi lokasi sensor dan material serta pengembangan teknik penentuan lokasi dan ukuran sumber AE secara 3D layak untuk dilakukan untuk penelitian lebih lanjut untuk dapat meningkatkan kapabilitas metode emisi akustik dalam monitoring kondisi mesin.

## Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah Riset Madya UI 2012 yang dikelola oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Universitas Indonesia. Penulis

mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa Unggulan BPKLN-DIKTI. Terima kasih pula kepada saudara Ekania dan Andira yang telah membantu dalam proses penyelesaian penulisan makalah ini.

## Referensi

Lees, A.W., dan Z. Quiney. The use of acoustic emission for bearing condition monitoring. *Journal Physics*: 1-10 (2011).

Mehrjou M. R., et. all. Rotor fault condition monitoring techniques for squirrel-cage induction machine. *Journal Mechanical System and Signal Processing*, Vol. 25: 857-869 (2011)

Al-Balushi K. R., et. all. Energy Index technique for detection of Acoustic Emissions associated with incipient bearing failures. *Journal Applied Acoustics*, Vol. 71: 812–821 (2010)

Al-Dossary S., et. all. Observations of changes in acoustic emission waveform for varying seeded defect sizes in a rolling element bearing. *Journal Applied Acoustics*, Vol. 70: 58–81 (2009)

Nirbito, Wahyu. Detecting Incipient Defect of Rolling Elements Bearing by Applying the Blind Deconvolution Method in Numerical Technique. the 4<sup>th</sup> International Conference on Numerical Analysis in Engineering (2005)

Nirbito, Wahyu, et. all. Detection of the Incipient Rolling Elements Bearing Defects, Directly from Time Domain Vibration Signals, By Using a Non-Mechanical Sensor, 7th Quality In Research. (2004)

Tandon, N. dan A. Choudhury, A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. *Journal Tribology International*, Vol. 32: 469-480 (1999)

Nirbito, Wahyu. Penentuan Kerusakan Dini pada Elemen Mesin Dinamis Bantalan Gelinding Melalui Deteksi Sinyal Penjalaran Gelombang Tegangan Frekuensi Tinggi, Disertasi (2011)

Grosse, C.U. dan M. Ohtsu. Acoustic Emission Testing : Basic for Research-Application in Civil Engineering. Springer-Verlag (2008)

Naber, R.R. dan H. Bahai. Analytical and experimental validations of a numerical band-limited Green's function approach for modeling acoustic emission waves. *Journal Advances in Engineering Software*, Vol. 38: 876–885 (2007)

Baxter, M. G., et. all. Delta T source location for acoustic emission. *Journal Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 21: 1512–1520 (2007)

Scholey, J. J., et. all. A generic technique for acoustic emission source location. *Journal Acoustic Emission*, Vol. 27: 291-298 (2009)

Lymperatos, E. M. dan E. S. Dermatas. Acoustic emission source location in dispersive media. *Journal Signal Processing*, Vol. 87: 3218-3225 (2007)

Muravin, Boris. Acoustic Emission Wave Propagation and Source Location. (2008)

Richart et all. Vibrations of Soils and Foundations. Prentice Hall (1970)

Prasana G, M. R. Bhat dan C. R. L. Murthy. Acoustic Emission Source Location on an Arbitrary Surface by Geodesic Curve Evolution. *Advances in Acoustic Emission* (2007).

**Tabel 1.** Analisis Kehandalan Metode Penentuan Lokasi dan Sumber AE

Aspek Kehandalan		Metode				
		Time of Arrival	Energi	Cross-correlation	Zonal	Geodesic
Akurasi	Ketergantungan Waktu Delay	++	-	+	--	+
	Ketergantungan Pengurangan Amplitudo	-	++	+	--	+
Tingkat Kesulitan Komputasi		-	+	+	--	++
Biaya Operasional		--	-	-	++	+
Keterangan :		- =	Rendah			
		-- =	Sangat Rendah			
		+ =	Tinggi			
		++ =	Sangat Tinggi			