

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TIPE BANTALAN YANG DIGUNAKAN, PERUBAHAN KAPASITAS DAN HEAD POMPA SENTRIFUGAL SATU TINGKAT TERHADAP PRILAKU VIBRASINYA

Ikhwansyah Isranuri

Pusat Riset Teknik Pengendalian Kebisingan/Vibrasi dan Sistem Pakar
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU
Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155, Telp. (061) 8212050 Fax. (061) 8212050
Email : isranuri@yahoo.com

Zulkifli Lubis

Kepala Devisi Produksi PDAM Tirtanadi
Jl. Sisingamangaraja Kantor Pusat PDAM Tirtanadi, Medan
Email : zulkifli_lubis@yahoo.com

Abd. Wahid Simangunsong, Zuhri Zahra

Staf Pengajar Politeknik Caltex, Riau

ABSTRACT

This paper is a report of the results of a research on the influence of bearing type due to the vibration characteristic of a single-stage centrifugal pump. The pump used in this research is a centrifugal pump with maximum head of nine meters, maximum capacity of 3.5 liter/second and power of 746 Watt. Poly Vinyl Carbon (PVC) pipe is used in suction and discharge pipes. The suction pipe of 50 mm in diameter and 1.73 meters long which are equipped with valve and pipe support. The discharge pipe of 50 mm in diameter and 4.4 meters long which are equipped with valve, water meter, manometer and pipe support. The static head of the system is 1.13 m and the total head of system is three meters. The vibration characteristic test is observed and analyzed through vibration parameters consisting of displacement, velocity and acceleration. Vibration measurement is range from the head three meters to seven meters and the vibration response is measured by Vibrometer Analog VM-3314A. P-01 and P-02 are the measurement points on pump and measured in axial, vertical and horizontal direction. Deep groove ball bearing as the original pump bearing, cylindrical bearing, and tapered bearing are types of bearing which used in this research. These two types of bearing are mostly found in field to be applied, when the original pump bearing are replaced for maintenance or life time reason. The result of research reveals that the highest displacement in horizontal direction occurred at P-02 with head of three meters, capacity of 1.3 liter/second when ball bearing is used in the pump with value of displacement 37.125 μm . Tapered bearing produces the lowest displacement compared to ball bearing or cylindrical bearing with the displacement value of 27.1 μm in the same condition.

Key words: *Vibration; Bearing; Centrifugal pump*

Abstrak

Pompa sentrifugal adalah jenis pompa yang paling banyak dipergunakan dalam dunia industri, apalagi industri pengolahan dan pendistribusian air tentu paling banyak menggunakan pompa sentrifugal. Kerusakan pada pompa sentrifugal sering terjadi akibat kegagalan bearing, biasanya disebabkan kurangnya perawatan, tingginya getaran pada operasi pompa dan proses pengoperasian dan pemberhentian pompa yang menimbulkan getaran tinggi. Hubungan antara head dan vibrasi pada pompa perlu untuk dianalisa, demikian juga jenis bearing yang rendah vibrasi. Tulisan ini mencoba memecahkan permasalahan tersebut melalui eksperimen dengan memasang pompa jenis sentrifugal satu tingkat dengan daya 746 Watt dan tiga (3) jenis bantalan berbeda yang dioperasikan dengan variasi tekanan. Pengukuran sinyal vibrasi yang timbul dilakukan dengan Vibrometer VM-3314 A dan diukur dari tiga sumbu yang berbeda

(vertikal, horizontal dan aksial). Hasil pengukuran sinyal vibrasi yang diambil secara time domain dan frequency domain, dianalisa sesuai karakteristik sinyal vibrasi pompa tersebut. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa displacement terbesar terjadi pada pompa yang menggunakan ball bearing arah aksial pada titik pengukuran P-02 head 3 m dengan harga displacement 37,125 μm . Tapered bearing memberikan displacement terendah dibanding bearing jenis ball dan cylindrical bearing dengan displacement 27,1 μm pada kondisi yang sama.

Kata-kata kunci: Vibrasi, head, kapasitas, bantalan, pompa sentrifugal.

PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal adalah jenis pompa yang sangat banyak dipakai oleh industri, terutama industri pengolahan dan pendistribusian air. Beberapa keunggulan pompa sentrifugal adalah: harga yang lebih murah, konstruksi pompa sederhana, mudah pemasangan maupun perawatan, kapasitas dan head tinggi, kehandalan dan ketahanan yang tinggi.

Disamping keunggulan dan kehandalan dari pompa sentrifugal tersebut, masih banyak didapati kegagalan yang terjadi pada pengoperasian dilapangan. Kegagalan sehingga pompa dioperasikan dengan menjepit pipa tekan, hal ini tentu menimbulkan getaran yang besar pada pompa. Pengoperasian dan pemberhentian pompa juga memberikan getaran yang sangat besar pada pompa, dimana pompa dioperasikan dalam kondisi katup pompa tertutup.

Pemilihan head yang lebih tinggi oleh perusahaan air minum memang dipilih untuk menutupi kebutuhan air pada saat beban puncak. Beban puncak terjadi pada pukul 06:00 s.d. 10:00 dan 16:00 s.d. 20:00 setiap hari yang besarnya kebutuhan beban puncak bisa mencapai 2 sampai 3 kali kebutuhan rata-rata.

Dengan dilandasi pada latar belakang di atas peneliti memandang perlu dilakukan suatu penelitian eksperimen dan analisa tentang berubahnya perilaku vibrasi pada pompa sentrifugal akibat jenis bearing serta head dan kapasitas.

METODOLOGI

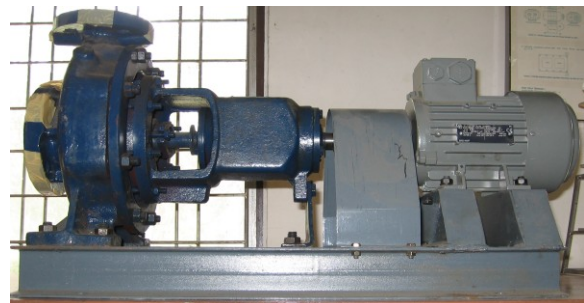
Bahan

pompa sentrifugal hampir 80 % karena kegagalan bearing dan hal lain adalah terjadi akibat kesalahan operasi maupun pemasangan, seperti: penyetulan sambungan pada pompa dan motor [1], pondasi pompa [2], penggunaan bentuk maupun bahan rangka pompa, getaran pada pipa tekan, kavitasi [3]. Beberapa kelemahan lainnya adalah: masih ada beberapa kesalahan perencanaan yang berakibat getaran yang tinggi pada pengoperasian pompa, seperti head pompa yang jauh lebih besar dari head sistem,

Dalam penelitian ini objek utama penelitian adalah pompa sentrifugal satu tingkat dengan data sebagai berikut:

Merk	: Aquavane KSB
Head	: 9 m
Kapasitas	: 3 Ltr/dt
Daya	: 746 watt
Voltage	: 230 Volt
Putaran	: 1450 rpm

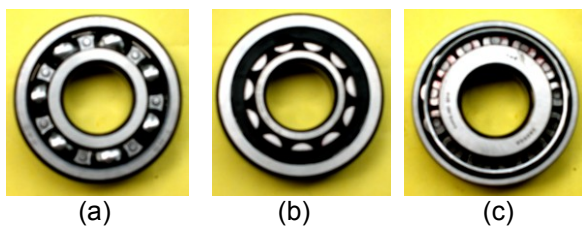
Pompa ini adalah pompa dengan kondisi baru sehingga dapat dianggap bahwa poros, impeller, coupling dalam kondisi baik (balance).



Gambar 1. Pompa sentrifugal

Bantalan yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis bantalan (bearing yang umum dipakai pada pompa sentrifugal dimana pada umumnya ukuran utama dari bearing

memiliki satndart sebagai acuan, ISO 15 (DIN 616) untuk radial bearing dan ISO 355 (DIN ISO 355, DIN 720). Untuk penelitian digunakan 3 jenis bearing:



Gambar 2. Jenis bearing penelitian (a) Deep groove ball bearing (b) Cylindrical roller bearing (c) Tapered roller bearing

Data-data teknis jenis-jenis bearing bahan penelitian [19]:

1. Deep groove ball bearing (DIN 625)

d (mm)	D (mm)	B (mm)	r_s (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	Spd (rpm)	no
25	62	17	1.1	22.4	11.4	11000	6305

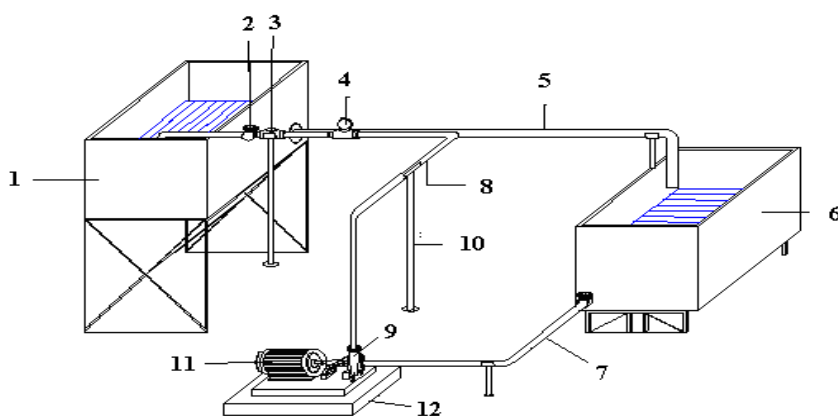
2. Cylindrical Roller Bearing (DIN 5412)

d (mm)	D (mm)	B (mm)	r_s (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	Spd (rpm)	no	W (kg)
25	62	17	1.1	41.5	37.5	9500	NU305E	0.243

3. Tapered Roller Bearing (DIN 720)

d (mm)	D (mm)	B (mm)	r_s (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	Spd (rpm)	no	W (kg)
25	62	17	1.5	47.5	46.5	6700	30305A	0.273

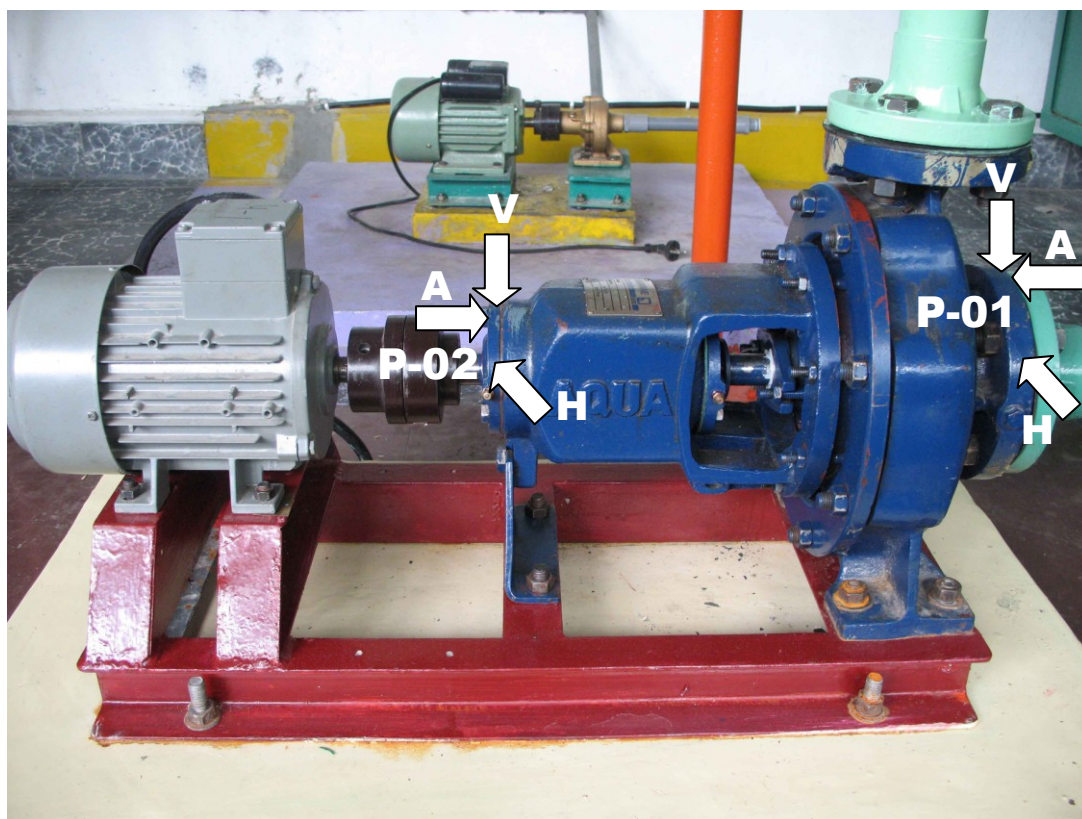
Pemasangan sistem perpompaan.



NO	Keterangan Gambar
1	Tangki air keluar
2	Valve pipa tekan
3	Meter air
4	Manometer
5	Pipa sirkulasi
6	Tangki air masuk
7	Pipa isap
8	Pipa tekan
9	Pompa
10	Support
11	Motor
12	Pondasi

Gbr 3. Sistim pemasangan pompa dan instalasinya.

Setup Peralatan



Gambar 4. Pengambilan titik pengukuran vibrasi pada pompa sentrifugal

Keterangan gambar P-01 dan P-02 : Titik Pengukuran

- A : Arah Aksial
- V : Arah Vertikal
- H : Arah Horizontal

Pemasangan Pondasi

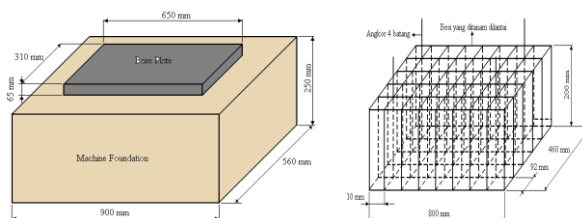
Bentuk struktur dari fondasi mesin yang direncanakan adalah berbentuk fondasi beton bertulang dengan komposisi besi, dan campuran beton seperti semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan tertentu. Dalam perancangan ini perbandingan yang dipakai untuk campuran beton seperti semen, pasir, dan kerikil adalah 1 : 1½ : 2 ½ [23]

Dalam pelaksanaan pembuatan pondasi pompa dilakukan dengan membobok semen lantai sampai menemukan besi rangka dari coran lantai, pemasangan tulang besi dari pondasi pompa diikat ke besi rangka lantai bangunan, sehingga pondasi

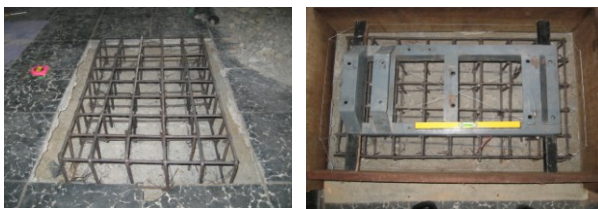
pompa menyatu dengan lantai 2 bangunan.

Dimensi Fondasi Mesin yang direncanakan:

$$P = (900 \times 560 \times 250) \text{ mm}$$



Gambar 5. Design pondasi pompa



Gambar 6. Pembuatan pondasi pompa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran respon getaran pada pompa dengan ball bearing.

Perhitungan kecepatan sudut, perioda, dan *amplitudo* untuk arah aksial, vertikal dan horizontal dapat dicari dan ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1 *Amplitudo*

Arah	Axial	Vertical	Horizontal
ω (rad/s)	25,3006	43,2547	40,6823
ωt (rad)	6,5239	5,1769	5,4614
t (s)	0,2579	0,1197	0,1342
A (m)	1,18E-04	5,20E-06	6,20E-06

Pemasangan Pompa, Panel, pipa dan assessories.

Pemasangan pompa dilakukan setelah pengecoran pondasi selesai dilakukan, baut pengikat machine based ke pompa telah disediakan terlebih dahulu dan telah diukur dengan akurat sehingga pemasangan *machine based* dapat dengan mudah dilakukan. Setelah pemasangan pompa dapat dilakukan, baru pemasangan pipa, katup, *manometer*, meter air, panel dapat dilakukan.

Dari Tabel 1 diatas dapat diplot dalam grafik amplitudo dan waktu dari rumus :

Arah aksial :

$$x = A \sin \omega \tau = 1,18 \times 10^{-4} \sin 25,3\tau$$

Arah vertikal :

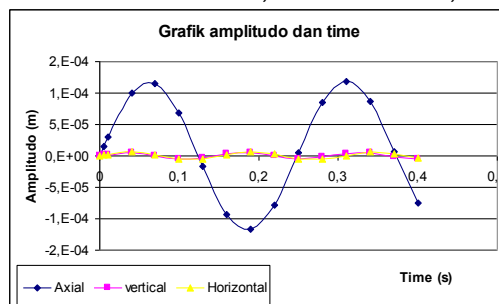
$$y = A \sin \omega \tau = 5,2 \times 10^{-6} \sin 43,25\tau$$

Arah horizontal :

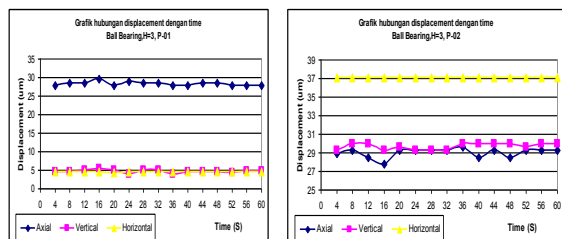
$$Z = A \sin \omega \tau = 6,2 \times 10^{-6} \sin 40,68\tau$$



Gambar 7. Gambar instalasi pompa



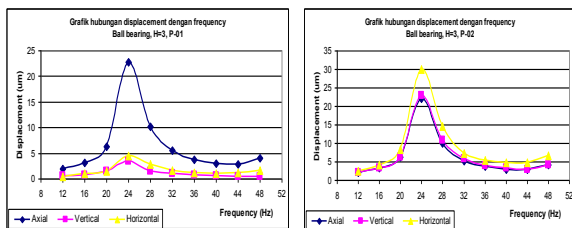
Gambar 8. Hubungan *amplitudo* dengan *time* pada H=3,P-01



Gambar 9. Hubungan *displacement* dengan *time* pada H=3,P-01 dan P-02

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada P-01 *displacement* pada arah aksial merupakan angka tertinggi dengan harga $28,25 \times 10^{-6} \text{ m}$, sedangkan *displacement* pada arah vertikal $4,7 \times$

10^{-6} m . dan horizontal hampir berimpit dengan rata-rata $4,5 \times 10^{-6} \text{ m}$. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa *displacement* pada arah horizontal merupakan angka tertinggi dengan harga $37,125 \times 10^{-6} \text{ m}$, sedangkan *displacement* pada arah vertikal dan aksial hampir berimpit dengan rata-rata $29,7 \times 10^{-6} \text{ m}$ dan $29,7 \times 10^{-6} \text{ m}$

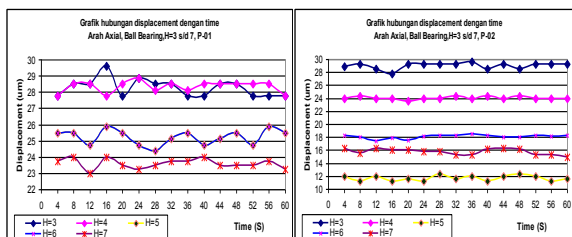


Gambar 10 Hubungan *displacement* dengan *frequency* pada H=3,P-02

Dari Gambar 10 titik P-01 dapat dilihat bahwa *displacement* dengan arah aksial lebih tinggi dari pada arah vertikal dan horizontal, *displacement* tertinggi pada seluruh arah terjadi pada frekuensi 24 Hz dengan *displacement* tertinggi arah aksial $22,75 \times 10^{-6}$ m, sedangkan *displacement* pada arah horizontal berkisar $4,5 \times 10^{-6}$ m dan vertikal $3,5 \times 10^{-6}$ m . Pada titik P-02 dapat dilihat *displacement* tertinggi pada seluruh arah terjadi pada frekuensi 24 Hz dengan *displacement* tertinggi arah horizontal 30×10^{-6} m, sedangkan *displacement* pada arah aksial berkisar 22×10^{-6} m dan vertikal 23×10^{-6} .

Perbandingan respon getaran dengan ball bearing pada head 3 m s.d. 7 m.

a) Respon getaran pada arah aksial dengan head 3 m sampai dengan 7 m.

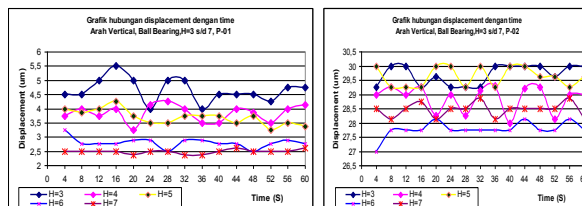


Gambar 11 Hubungan aksial *displacement* dengan *time* H=3s.d. 7,P-01 dan P-02

Dari Gambar 11 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah aksial *displacement* terbesar rata-rata terjadi pada head 3 m dengan harga *displacement* $28,25 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah head 7 m

dengan harga $23,6 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02 nilai *displacement* tertinggi terjadi pada head 3 m dengan harga *displacement* $29,25 \times 10^{-6}$ m, dan *displacement* terendah pada head 5 m dengan harga $11,7 \times 10^{-6}$ m.

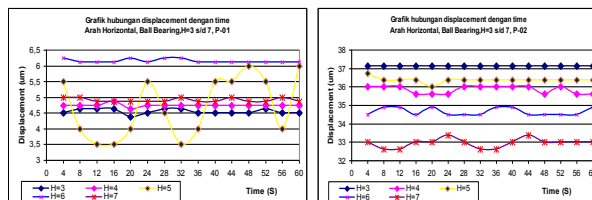
b) Respon getaran pada arah vertikal dengan head 3 m sampai dengan 7 m .



Gambar 12. Hubungan vertikal *displacement* dengan *time* H=3 s.d. 7,P-01 dan P-02

Dari Gambar 12 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah pengukuran vertikal, *displacement* terbesar terjadi pada head 3 m dengan harga *displacement* $4,65 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah rata-rata pada head 7 m dengan harga $2,4 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai *displacement* tertinggi rata-rata terjadi pada head 3 m dengan harga *displacement* $29,7 \times 10^{-6}$ m, dan *displacement* terendah rata-rata pada head 6 m dengan harga $27,8 \times 10^{-6}$ m.

c) Respon getaran pada arah horizontal dengan head 3 m sampai dengan 7 m .



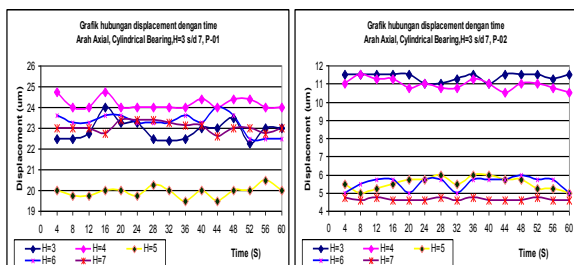
Gambar 13. Hubungan horizontal *displacement* dengan *time* H=3 s.d. 7,P-01 dan P-02

Dari Gambar 13 titik P-01 dapat dilihat pada arah pengukuran horizontal, *displacement* terbesar terjadi pada head

6 m dengan harga *displacement* $6,125 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah rata-rata pada *head* 5 m dengan harga *displacement* $4,7 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai *displacement* tertinggi rata-rata terjadi pada *head* 3 m dengan harga *displacement* $37,125 \times 10^{-6}$ m, dan *displacement* terendah rata-rata pada *head* 7 m dengan harga $32,9 \times 10^{-6}$ m.

Perbandingan respon getaran dengan cylindrical bearing pada head 3 s.d. 7 m.

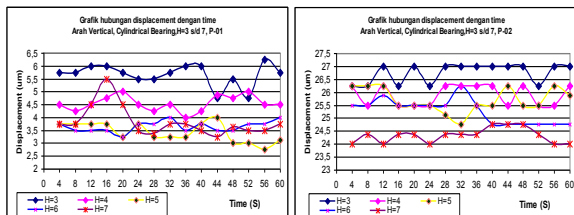
a). Respon getaran pada arah aksial dengan *head* 3 m sampai dengan 7 m.



Gambar 14. Hubungan aksial *displacement* dengan *time* H=3 s.d.7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 14. titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah aksial *displacement* terbesar terjadi pada *head* 4 m dengan harga *displacement* $24,175 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah *head* 5 m dengan harga $19,9 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02 nilai *displacement* tertinggi terjadi pada *head* 3 m dengan harga *displacement* $11,3 \times 10^{-6}$ m, dan *displacement* terendah pada *head* 7 m dengan harga $4,7 \times 10^{-6}$ m

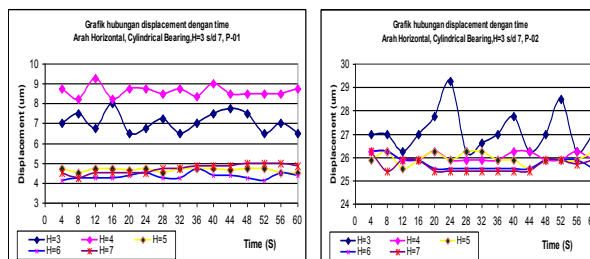
b). Respon getaran pada arah vertikal dengan *head* 3 m sampai dengan 7 m.



Gambar 15 Hubungan vertikal *displacement* dengan *time* H=3 s.d. 7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 15 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah pengukuran vertikal, *displacement* terbesar terjadi pada *head* 3 m dengan harga *displacement* $5,7 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah rata-rata pada *head* 5 m dengan harga $3,4 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai *displacement* tertinggi rata-rata terjadi pada *head* 3 m dengan harga *displacement* $26,75 \times 10^{-6}$ m, dan *displacement* terendah rata-rata pada *head* 7 m dengan harga $24,3 \times 10^{-6}$ m

c). Respon getaran pada arah horizontal dengan *head* 3 m sampai dengan 7 m

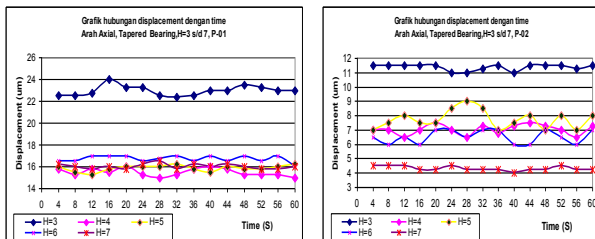


Gambar 16 Hubungan horizontal *displacement* dengan *time* H=3 s.d. 7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 16 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah pengukuran horizontal, *displacement* terbesar terjadi pada *head* 4 m dengan harga *displacement* $7,1 \times 10^{-6}$ m, harga *displacement* terendah rata-rata pada *head* 6 m dengan harga $4,4 \times 10^{-6}$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai *displacement* tertinggi rata-rata terjadi pada *head* 3 m dengan harga *displacement* $27,125 \times 10^{-6}$ m dan *displacement* terendah rata-rata pada *head* 7 m dengan harga $25,6 \times 10^{-6}$ m.

Perbandingan respon getaran dengan tapered bearing pada head 3 s.d. 7 m

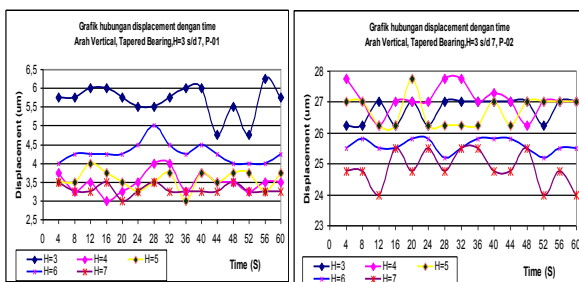
a) Respon getaran pada arah aksial dengan *head* 3 m sampai dengan 7 m



Gambar 17 Hubungan aksial displacement dengan time H=3 s.d. 7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 17 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah aksial displacement terbesar terjadi pada head 3 m dengan harga displacement 23×10 m, harga displacement terendah pada head 4 m dengan harga $15,47 \times 10$ m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa nilai displacement tertinggi terjadi pada head 3 m dengan harga displacement $11,37 \times 10$ m, dan displacement terendah pada head 7 m dengan harga $4,3 \times 10$ m.

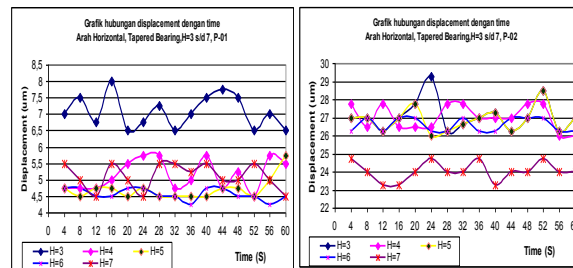
b) Respon getaran pada arah vertikal dengan head 3 m sampai dengan 7 m .



Gambar 18 Hubungan vertikal displacement dengan time H=3 s.d. 7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 18 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah pengukuran vertikal, displacement terbesar terjadi pada head 3 m dengan harga displacement $5,67 \times 10$ m, harga displacement terendah rata-rata pada head 7 m dengan harga $3,3 \times 10$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai displacement tertinggi rata-rata terjadi pada head 4 m dengan harga displacement $27,07 \times 10$ m, dan displacement terendah rata-rata pada head 7 m dengan harga $24,85 \times 10$ m.

c) Respon getaran pada arah horizontal dengan head 3 m sampai dengan 7 m .



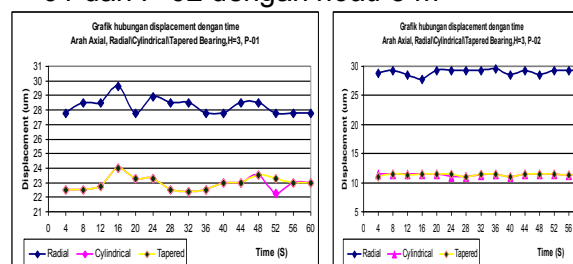
Gambar 19 Hubungan horizontal displacement dengan time H=3 s.d. 7, P-01 dan P-02

Dari Gambar 19 titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah pengukuran horizontal, displacement terbesar terjadi pada head 3 m dengan harga displacement $7,1 \times 10$ m, harga displacement terendah rata-rata pada head 6 m dengan harga $4,57 \times 10$ m. Pada titik pengukuran P-02, nilai displacement tertinggi rata-rata terjadi pada head 3 m dengan harga displacement $27,1 \times 10$ m dan displacement terendah rata-rata pada head 7 m dengan harga 24×10 m.

Perbandingan respon getaran pada ball, cylindrical dan tapered bearing.

Pengukuran respon getaran pada pompa dengan bearing pompa jenis ball, cylindrical dan tapered bearing memberikan hasil pengukuran yang berbeda dari masing-masing bearing, perbedaan terjadi akibat jenis bearing dan kondisi pembebanan pompa.

a) Pengukuran arah aksial pada titik P-01 dan P-02 dengan head 3 m

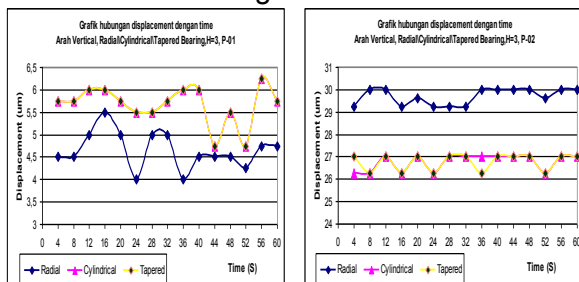


Gambar 20 Hubungan displacement dengan time arah aksial H=3m, P-01 dan P02

Dari Gambar 20 dapat titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah aksial dengan head 3 m, displacement tertinggi terjadi pada ball bearing dengan angka rata-rata $28,25 \times 10$ m, sedangkan pada cylindrical dan tapered bearing berimpit dengan

displacement rata-rata cylindrical 22.89 x 10 m dan tapered 22,95 x 10 m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah aksial pada ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain, dengan nilai rata-rata 29 x 10 m dan displacement cylindrical dan tapered bearing berimpit dengan harga rata-rata 11,36 x 10 m.

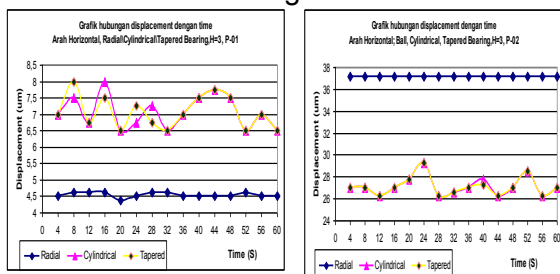
b) Pengukuran arah vertikal pada titik P-01 dan P-02 dengan head 3 m



Gambar 21 Hubungan displacement dengan time arah vertikal H= 3m,P-01 dan P02

Dari Gambar 21 dapat titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah vertikal dengan head 3 m, displacement tertinggi terjadi pada cylindrical dan tapered bearing dengan angka rata-rata 5,67 x 10 m untuk kedua bearing, sedangkan pada ball bearing displacement rata-rata 4,65 x 10 . Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah vertical pada ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain, dengan harga rata-rata 29,7 x 10 m dan displacement cylindrical dan tapered bearing berimpit dengan harga rata-rata 26,75 x 10 m.

c) Pengukuran arah horizontal pada titik P-01 dan P-02 dengan head 3 m

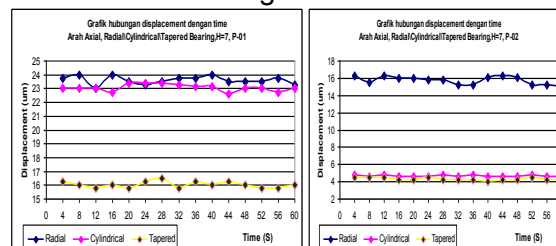


Gambar 22 Hubungan displacement dengan time arah horizontal, H=3m,P-01 dan P02

Dari Gambar 22 dapat titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah horizontal dengan head 3 m, displacement tertinggi

terjadi pada cylindrical dan tapered bearing yang berimpit dengan angka rata-rata 7.07 x 10⁻⁶ m untuk kedua bearing, sedangkan pada ball bearing displacement rata-rata 4,54 x 10⁻⁶ m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah horizontal pada ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain, dengan nilai rata-rata 37,125 x 10 m dan displacement cylindrical dan tapered hampir berimpit dengan harga rata-rata 27,125 x 10 m untuk cylindrical dan 27,09 x 10 m untuk tapered bearing.

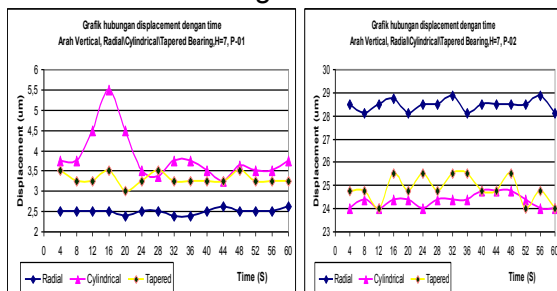
d) Pengukuran arah aksial pada titik P-01 dan P-02 dengan head 7 m



Gambar 23 Hubungan displacement dengan time arah aksial, H=7 m, P-01 dan P02

Dari Gambar 23 dapat titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah aksial dengan head 7 m, displacement tertinggi terjadi pada ball bearing hampir berimpit dengan cylindrical bearing, angka rata-rata untuk ball bearing 23,6 x 10⁻⁶ m dan 23,05 x 10⁻⁶ untuk cylindrical bearing, sedangkan pada tapered bearing rata-rata 16,02 x 10⁻⁶ m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah aksial ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain dengan nilai rata-rata 15,73 x 10⁻⁶ m dan displacement cylindrical dan tapered hampir berimpit dengan harga rata-rata 4,65 x 10⁻⁶ m untuk cylindrical dan 4,32 x 10⁻⁶ m untuk tapered bearing.

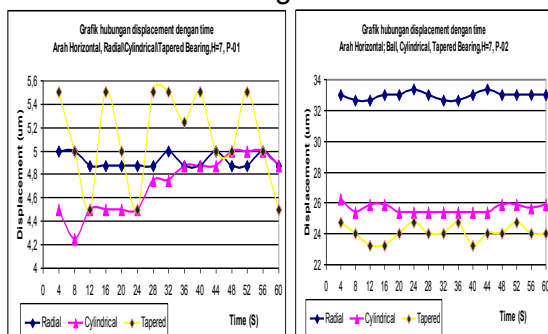
e) Pengukuran arah vertikal pada titik P-01 dan P-02 dengan head 7 m



Gambar 24 Hubungan displacement dengan time arah Vertikal, H=7m,P-01 dan P02

Dari Gambar 24 pada titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah vertikal dengan head 7 m, displacement tertinggi terjadi pada cylindrical bearing dengan rata-rata $3,83 \times 10^{-6}$ m, kemudian diikuti oleh tapered bearing dengan harga rata-rata $3,3 \times 10^{-6}$ m, kemudian ball bearing dengan rata-rata $2,5 \times 10^{-6}$ m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah vertical ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain dengan nilai rata-rata $28,47 \times 10^{-6}$ m dan displacement cylindrical dan tapered hampir berimpit dengan harga rata-rata $24,325 \times 10^{-6}$ m untuk cylindrical dan $24,85 \times 10^{-6}$ m untuk tapered bearing.

f) Pengukuran arah horizontal pada titik P-01 dan P-02 dengan head 7 m



Gambar 25 Hubungan displacement dengan time arah horizontal, H=7m,P-01 dan P02

Dari Gambar 25 dapat titik P-01 dapat dilihat bahwa pada arah horizontal dengan head 7 m, displacement tertinggi terjadi pada tapered bearing dengan rata-rata $5,12 \times 10^{-6}$ m, kemudian diikuti oleh ball bearing dengan harga rata-rata

$4,92 \times 10^{-6}$ m, kemudian cylindrical bearing dengan rata-rata $4,72 \times 10^{-6}$ m. Pada titik P-02 dapat dilihat bahwa displacement arah horizontal ball bearing lebih tinggi dari bearing yang lain dengan nilai rata-rata $32,95 \times 10^{-6}$ m dan displacement cylindrical rata-rata $25,6 \times 10^{-6}$ m dan $24,05 \times 10^{-6}$ m untuk tapered bearing.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa hasil yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian ini. Hasil-hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan antara lain:

1. Pengukuran sesuai arah pengukuran aksial, vertikal dan horizontal untuk head yang bervariasi dari 3 m sampai dengan 7 m pada pompa yang menggunakan ball bearing dapat disimpulkan bahwa rata-rata displacement turun sesuai dengan naiknya tekanan, besarnya displacement tertinggi pada head 3 m titik P – 02 arah horizontal dengan harga displacement $37,125 \times 10^{-6}$ m dan terendah pada head 7 m titik P-01 arah vertikal dengan harga displacement $2,49 \times 10^{-6}$ m.

2. Frekuensi tertinggi terjadi terjadi pada frekuensi 24 Hz untuk pengukuran displacement, velocity dan acceleration. Besarnya harga displacement, velocity dan acceleration tergantung pada titik pengukuran.

3. Pengukuran sesuai arah pengukuran aksial, vertikal dan horizontal untuk head yang bervariasi dari 3 m sampai dengan 7 m pada pompa yang menggunakan cylindrical bearing dapat disimpulkan bahwa rata-rata displacement turun sesuai dengan naiknya tekanan, besarnya displacement tertinggi terjadi pada head 3 m titik P-02 arah horizontal dengan harga displacement $27,125 \times 10^{-6}$ m dan terendah pada head 5 m titik P-01 arah vertikal dengan harga displacement $3,4 \times 10^{-6}$ m.

4. Pengukuran sesuai arah pengukuran aksial, vertikal dan horizontal untuk head yang bervariasi dari 3 m sampai dengan 7 m pada pompa yang menggunakan tapered bearing dapat disimpulkan bahwa rata-rata

displacement turun sesuai dengan naiknya tekanan, besarnya displacement tertinggi terjadi pada head 3 m titik P-02 arah horizontal dengan harga displacement $27,09 \times 10^{-3}$ m dan terendah pada head 7 m titik P-01 arah vertikal dengan harga displacement $3,3 \times 10^{-3}$ m.

5. Pada pengukuran respon getaran pada pompa sentrifugal dengan menggunakan ball bearing, cylindrical bearing dan tapered bearing dengan head mulai dari 3 m sampai 7 m dapat disimpulkan bahwa displacement terbesar terjadi pada ball bearing diikuti cylindrical bearing dan tapered bearing. Besarnya displacement untuk setiap arah;

- a) arah aksial
Displacement tertinggi terjadi pada ball bearing dengan head 3 m titik P-02 dengan harga 29×10^{-3} m.
- b) arah vertikal
Displacement tertinggi terjadi pada ball bearing dengan head 3 m titik P-02 dengan harga $29,7 \times 10^{-3}$ m.
- c) arah horizontal
Displacement tertinggi terjadi pada ball bearing dengan head 3 m titik P-02 dengan harga $37,125 \times 10^{-3}$ m.

6. Dari ketiga jenis bearing yang diteliti dapat disimpulkan bahwa tapered bearing memberikan hasil respon getaran yang paling rendah. Perbandingan penurunan respon getaran pada tapered bearing dibanding dengan ball bearing untuk head 3 m titik P-02 adalah:

- a) arah aksial:
Penurunan getaran (%) = 60,8 %
 - b) arah vertikal:
Penurunan getaran (%) = 9,9 %
 - c) arah horizontal:
Penurunan getaran (%) = 27,12 %
- Untuk head 7 m
- a) arah aksial:
Penurunan getaran (%) = 72,5 %
 - b) arah vertikal:
Penurunan getaran (%) = 12,72 %
 - c) arah horizontal:
Penurunan getaran (%) = 27 %

Untuk head 7 m

- a) arah aksial:
Penurunan getaran (%) = 72,5 %
- b) arah vertikal:
Penurunan getaran (%) = 12,72 %
- c) arah horizontal:
Penurunan getaran (%) = 27 %

7. Grafik hubungan kapasitas dan head actual yang diperoleh dari hasil pengukuran memperlihatkan head maksimal pompa 8 meter dan head sistim 3 m dengan kapasitas berkisar 3 ltr/dt. Jika dibandingkan dengan grafik kapasitas dan head pompa terdapat perbedaan dimana head maksimal 9 meter dan head minimal 6 meter dengan kapasitas 3,5 ltr/dt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ganeriwala, S., Patel, S., Hartung, H.A., *The Truth Behind Misalignment Vibration Spectra of Rotating Machinery*, Article of Spectra Quest, Inc.
- [2]. Isranuri, I., Sitepu, N., Rafani, M., *Machine based developing, Design of vibration testing equipment for centrifugal water pump*, Tugas akhir (unpublished), 2005.
- [3]. Sahdev, M., *Centrifugal Pumps: Basic Concepts of Operation, Maintenance, and Troubleshooting*, Part II, (Understanding Cavitation), The Chemical Engineers' Resource Page.
- [4]. Isranuri, I., Sitepu, N., Rafani, M., *Study On Vibration of Centrifugal Pump System Due To The Change Of Capacity*, Proceedings Noise & Vibration Reseach UKM, 2005.
- [5]. David, P.F., Poplawski, J.V., *Transient Vibration Prediction for Rotors on Ball Bearing Using Load-Dependent Nonlinear Bearing Stiffness*, Internasional Journal of Rotating Machinery, 2004.
- [6]. Harsha, S.P., *Nonlinear dynamic analisis of rolling element bearings due to cage run-out and*

- number of balls*, Journal of Sound and Vibration, 2005.
- [7]. Bodre, R., *The Principles of vibration teory and analysis*, DLI Engineering Corp. Bainbridge Island, WA 98110.
- [8]. Mc. Nally Institute, Technical Paper, Information for Pump and seal, 2004.
- [9]. Joy, P.F., *Shaft Eccentricity and Bearing Forces*, Central Maintenance Department Equate Petrochemical Company Kuwait, 2004.
- [10]. Azovtsev, A.Y., Barkov, A.V., Carter, D.L., *Improving the Accuracy of Rolling Element Bearing Condition Assessment*, VibroAcoustical Systems and Technologies, Saint Petersburg, Russia, 2004.
- [11]. Carter, D.L., *A new Method of Processing Rolling Element Bearing Signals*, articles vibrotek, 2004.
- [12]. Kipin, M.M., *Cinematases, A new method of data presentation for machine vibration analysis*, <<http://www.vibrotec.com>>, 2002.
- [13]. Barkov, A.V., Barkova, N.A., *Artificial Intelligence System for Machine Condition Monitoring and Diagnostics by Vibration*, Proceedings of the Saint Peterburg, USA, 1999.
- [14]. Zulkifli Lubis, Pengaruh Jenis Bantalan, Kapasitas dan Head Terhadap Prilaku Vibrasi Pompa Sentrifugal Satu Tingkat (Single Stage), Tesis Magister (unpublished), 2006.
- [15]. Jupri Ananda, Kajian Vibrasi Machine Fondation untuk Pompa Sentrifugal Satu Tingkat (Single Stage), Tesis Magister (unpublished), 2006.
- [16]. Bagiasna, K., Analisis Sinyal Getaran, PT. Krakatau Engineering
- [17]. William, T., Prasetio, L., Teori Getaran Dengan Penerapan, Penerbit Erlangga, 1995.
- [18]. Kelly, S.G., *Fundamentals of Mechanical Vibration*, Second Edition, Mc Graw Hill, 2000.
- [19]. Kenneth, G., McConnell, *Vibration Testing*, John Wiley & Sons. Inc, 1995.
- [20]. Sahdev, M., *Centrifugal Pumps: Basic Concepts of Operation, Maintenance, and Troubleshooting* (Part-II, Understanding Cavitation), The Chemical Engineers' Resource Page, 2004.
- [21]. Piotrowski, J., *The Importance of Shaft Alignment*, Turvac Incorporated, 2000
- [22]. FAG, *Rolling bearing Standard Programmed*, FAG SOUTH EAST ASIA PTE. LTD. Catalogue WL 41510/3ESi, 1992.
- [23]. Church, A.H., Pompa dan Bloewer sentrifugal, Penerbit Erlangga, 1986
- [24]. Sularso, Tahara, H., Pompa & Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
- [25]. Sularso, Suga, K., Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1997.
- [26]. Jensen, Chenoweth, Kekuatan Bahan Terapan Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [27]. Dynaseq. Monitoring group. 12 Juli 2006. <<http://www.dynaseq.co.uk>>