

STUDI PEMANFAATAN GAYA PEMBALIK PEGAS SEBAGAI ALAT UKUR PERCEPATAN SENTRIFUGAL

(A STUDY OF USING RESTORING FORCE OF SPRING FOR MEASURING
CENTRIFUGE ACCELERATION)

Bambang Murdaka Eka Jati**), dan Evi Yuliana***)

*Laboratorium Fisika Dasar, FMIPA UGM, Yogyakarta

** Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang

b_murdaka@ugm.ac.id

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah prototipe alat ukur percepatan sentrifugal yang memanfaatkan gaya pembalik pegas. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kenyataan bahwa keberadaan alat ukur percepatan masih langka. Alat itu perlu dibuat, dengan biaya murah, sehingga digunakanlah regangan pegas sebagai sensornya. Penelitian dimulai dengan menempatkan bola besi di ujung pegas, yang diletakkan di pelat putar. Periode putaran pelat diatur, dan regangan pegas (oleh adanya gaya sentrifugal yang diderita bola besi) diukur dengan mistar. Nilai regangan pegas dialihragamkan menjadi tegangan listrik, setelah arus listrik dari baterai dilewatkan pada tahanan geser. Akhirnya diperoleh sebuah prototipe alat ukur percepatan sentrifugal. Kawasan ukur alat itu adalah dari 0 sampai dengan $9,6 \text{ m/s}^2$, dan berketelitian 90%.

Kata kunci: Gaya pembalik pegas, percepatan sentrifugal

ABSTRACT

The centrifuge accelerometer using the restoring force of the spring has been made. The background of this research is the reality that accelerometer could not be found somewhere. This equipment must be built as cheap as possible, that it uses a spring displacement as a sensor. The research is started by placing of an iron ball at the end of the spring, which is placed on the rotation plate. The period of rotation plate is adjusted, then displacement of spring (by centrifuge acceleration of an iron ball) is measured by the ruler. The spring displacement is transformed to an electric voltage via a resistance variable. Finally, it could be found as a centrifuge acceleration prototipe. Which the domein of this equipment is from 0,0 to $9,6 \text{ m/s}^2$, at 90% in precision.

Keywords: Restoring force of spring, centrifuge acceleration

Makalah diterima 05 September 2005.

1. PENDAHULUAN

Kualitas pembangunan manusia ditopang oleh 3 unsur, yaitu: kesehatan, pendidikan, dan tingkat kesejahteraan. Ketiga unsur itu, bila sistem organisasi pada setiap manusia sudah efektif haruslah saling bersinergi. Artinya, orang yang sehat (jasmani dan rohani) harus berkarya, karya itu sesuai dengan ilmu dari pendidikan yang diterimanya, dan akhirnya menjadilah orang sejahtera. Pada penelitian ini terjadi sinergi antara pendidikan dengan kesejahteraan. Hal ini disebabkan, penelitian yang dilandasi ilmu fisika sebagai ilmu dasar, dan keluarannya berupa barang, bisa dimanfaatkan oleh masyarakat. Pada akhirnya mensejahterakan pembuat dan pengguna barang itu, karena barang hasil karya tersebut mempunyai nilai tambah.

Alat ukur percepatan sentrifugal (bisa digunakan pula sebagai alat ukur percepatan translasi) masih jarang ditemui. Pada hal, alat ukur itu digunakan standarisasi pada lift atau mesin kendaraan bermotor. Nilai percepatan yang biasa diperlukan orang berada pada kawasan nilai antara 0 sampai dengan nilai percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$). Untuk itulah diperlukan alat ukur percepatan sentrifugal yang bertarget kawasan ukur di atas.

Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk membuat alat ukur percepatan sentrifugal berpenampil digital yang memanfaatkan gaya pembalik pada pegas, dan dilandasi oleh hukum Hooke. Tentu saja, melalui penelitian ini dimaksudkan pula untuk dapat memanfaatkan pengetahuan fisika pada peristiwa terapan. Selain itu, juga dapat dibuat transduser percepatan sentrifugal dengan biaya murah.

Penelitian ini diharapkan memberikan 3 faedah. Faedah pertama, terdapat sinergi langsung antara pendidikan dengan kesejahteraan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas pembangunan manusia. Kedua, diperoleh keluaran berupa prototipe alat ukur percepatan (*accelerometer*) sentrifugal berpenampil digital yang pada akhirnya dapat dimanfaatkan oleh dunia industri. Ketiga, penelitian ini merupakan hal baru di laboratorium penulis, dan selama ini penulis belum menjangkau produk di pasaran

dengan metode yang sama dengan hasil penelitian ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai sejumlah jenis sensor dan transduser yang berkeluaran alat ukur besaran fisika berpenampil digital, telah dilakukan sejumlah kolega dan penulis. Penelitian ini dimulai dengan keberhasilan membuat alat ukur suhu digital berbahan tembaga – besi komersial (Purwadi dan Murdaka, 1999) yang dilandasi cara kerja termokopel. Penelitian dilanjutkan dengan pembuatan alat ukur regangan yang memanfaatkan strain gauge (Murdaka dan Purwadi, 2001), pemanfaatan potensiometer untuk menentukan koefisien muai panjang logam (Murdaka dkk, 2004), dan pemanfaatan strain gauge untuk membuat accelerometer (Murdaka dan Purwadi, 2004). Semua alat ukur itu dibuat berpenampil digital.

Usher (1989) menyatakan, bahwa pemanfaatan sensor besaran fisika dapat digunakan untuk menghasilkan beragam transduser. Transduser itu berkeluaran besaran listrik. Besaran listrik yang dimaksud bisa berbentuk: arus listrik, tahanan, atau tegangan. Hanya saja, untuk dapat dibaca haruslah dapat dinyatakan ke unit penampil, dan besaran listrik itu harus berupa tegangan. Jika keluaran non tegangan, haruslah diubah menjadi tegangan. Ini bisa dilakukan dengan pemberian tahanan (untuk keluaran arus listrik), atau jembatan wheatstone (untuk tahanan).

Dinyatakan oleh Cooper (1978), bahwa keluaran tegangan dari transduser, mudah digunakan untuk beragam keperluan. Jika ingin hasil ukurnya dapat langsung dilihat, dapat digunakan unit penampil digital (*display*). Untuk dapat dicetak, maka keluaran itu dihubungkan dengan unit pencetak. Untuk dapat direkam, cukup dihubungkan dengan interface sebuah komputer. Hanya saja, nilai tegangan keluaran transduser tidak selalu sama dengan kawasan baca ADC (*Analog to Digital Converter*). Jika tegangan itu terlalu kecil, maka harus diperkuat dengan unit penguat linear (*OpAmp*), sehingga diperoleh nilai tegangan pada kawasan baca ADC.

Penelitian berkeluaran prototipe accelero-meter, pernah dikerjakan oleh penulis (Murdaka dan Purwadi, 2004). Namun accelerometer itu menggunakan sensor regangan berupa strain gauge, sehingga selain berbiaya mahal juga bentuk regangan itu tidak makroskopis. Pada penelitian ini, pembuatan accelerometer sentrifugal dilandasi oleh sensor regangan pegas, biaya pembuatannya lebih murah serta bentuk regangannya dapat dilihat mata (makroskopis).

3. TEORI

Sebuah pegas ringan memiliki tetapan pegas k , dalam keadaan ditarik sehingga pegas meregang sejauh $|\bar{x}|$ atau x dari posisi setimbangnya, dalam hal ini x masih berada di daerah elastisitas pegas. Pada peristiwa itu, pegas melakukan gaya pembalik (\bar{F}) yang selalu berarah menuju ke titik setimbangnya. Hal itu dikuasai oleh hukum Hooke:

$$\bar{F} = -k\bar{x} \quad (1)$$

Ditinjau benda massa m melakukan gerak putar pada lintasan lingkaran, pada kelajuan v , kelajuan sudut ω , periode T , dan berjarak r dari pusat lingkaran. Akibat adanya gerak putar, mengakibatkan benda menderita gaya sentrifugal \bar{F}_{cf} , dan hal ini akan menyebabkan adanya percepatan sentrifugal \bar{a}_{cf} yang berarah menjauhi pusat lingkaran. Hal itu memenuhi kaitan,

$$\bar{F}_{cf} = m\bar{a}_{cf} \quad (2)$$

Adapun besar gaya sentrifugal dan perlajuannya (Murdaka, 2005) dinyatakan:

$$F_{cf} = \frac{mv^2}{r} \quad (3a)$$

$$a_{cf} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad (3b)$$

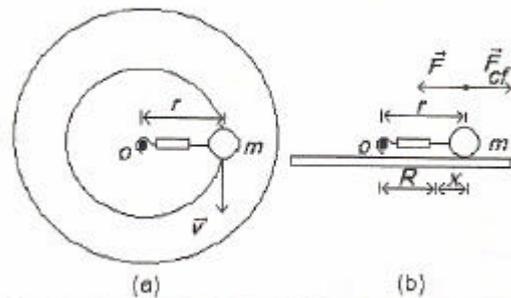
Peristiwa di atas dapat diterapkan pada bola besi massa m yang terikat erat di ujung pegas ringan, dan pegas itu memiliki tetapan pegas k , dan kemudian diletakkan di atas pelat

bundar yang licin (Gambar 1.a). Ujung pegas yang lain diklem di pusat pelat (o). Kemudian pelat diputar, sehingga m berlintasan lingkaran pada kelajuan v , dan berada pada jarak r dari o , dan periode putaran m senilai dengan periode putaran pelat.

Sebelum diputar, m berjarak R dari o , dan setelah pelat berputar m berkelajuan v maka jaraknya dari o menjadi $r = R + x$. Peubah x adalah regangan pegas oleh adanya gaya sentrifugal yang diderita m (Gambar 1b). Selanjutnya persamaan (2) dapat ditulis menjadi,

$$ma_{cf} = -kx \quad (4)$$

atau
$$a_{cf} = -\left(\frac{k}{m}\right)x \quad (5)$$



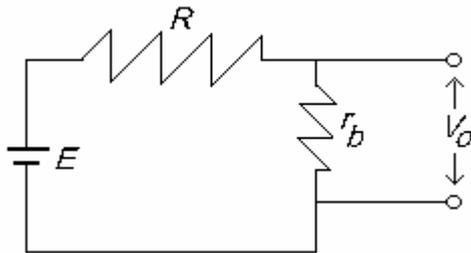
Gambar 1 Gerak m dan pelat putar, dilihat dari atas (a), Bagan gaya yang bekerja pada m , dilihat dari samping (b).

Mengacu persamaan (5), berarti a_{cf} memiliki hubungan linear dengan x . Sementara itu a_{cf} bisa ditentukan bila $r (= R + x)$ dan T dapat diukur. Pada eksperimen ini T diukur dengan stroboskop, sedangkan r dan x diukur dengan mistar.

Persamaan (5) dapat digunakan sebagai dasar menyatakan a_{cf} ke dalam besaran tegangan listrik. Itu dilakukan dengan menghubungkan penunjuk regangan pegas x pada tahanan geser. Ini dilandasi teori di elektronika (Cooper, 1978), bahwa ketika baterai bertegangan E , dihubungkan dengan 2 buah tahanan seri yaitu r_b dan R (Gambar 2), maka tegangan jepit di r_b adalah V_o . Selanjutnya V_o disebut tegangan keluaran, dan dipenuhi kaitan,

$$V_o = \left(\frac{r_b}{R+r_b}\right)E \quad (6)$$

Pada penelitian ini, besar tahanan oleh tahanan geser (r_b) sebanding dengan regangan pegas x . Dari persamaan (5) dan (6), a_{cf} dapat dinyatakan dalam x , x dinyatakan dalam r_b , dan r_b dinyatakan dalam V_o . Pada akhirnya a_{cf} dapat dinyatakan dalam V_o . Hubungan linear a_{cf} terhadap V_o , dapat digunakan sebagai dasar membuat alat ukur percepatan (*accelerometer*) sentrifugal yang berpenampil digital (*display*).

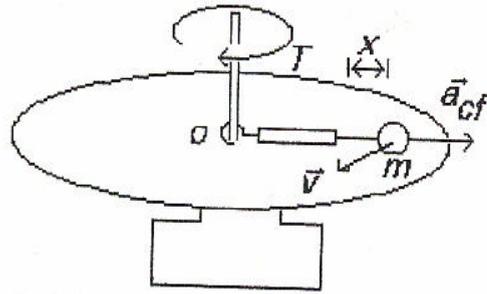


Gambar 2 Bagan tegangan jepit pada tahanan geser.

4. METODE EKSPERIMEN

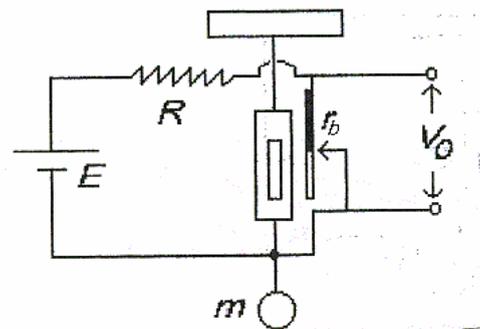
Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu: penelitian pendahuluan, karakterisasi accelerometer sentrifugal, dan pembuatannya. Eksperimen pendahuluan dilakukan dengan menentukan nilai tetapan pegas bahan sensor percepatan sentrifugal (lihat lampiran, Gambar L.1), penentuan x fungsi a_{cf} (Gambar 3) yang menggunakan perangkat *electronic turntable* (Gambar L.2). Selanjutnya dilakukan pengukuran a_{cf} melalui pengukuran T menggunakan sebuah stroboskop (Gambar L.3), dan r (termasuk juga x) yang diukur dengan mistar ketika pelat berputar.

Berikutnya, karakterisasi pegas bahan accelerometer sentrifugal dilakukan dalam 3 langkah, yang diuraikan sebagai berikut ini;



Gambar 3 Pengukuran regangan pegas, sebagai fungsi percepatan sentrifugal.

- Menentukan hubungan antara a_{cf} terhadap x , yang menggunakan Gambar 3.
- Mencari hubungan antara simpangan pegas (x) dengan tegangan keluaran dari tahanan geser (V_o). Hal itu diperjelas oleh Gambar 4. Untai dihubungkan dengan sebuah baterai E , tahanan tetap R , dan tahanan berubah r_b oleh adanya regangan pegas. Nilai r_b bertambah ketika m ditarik, sehingga x juga bertambah.
- Mengacu langkah (a) dan (b), sehingga diperoleh hubungan antara V_o dengan a_{cf} , sehingga nilai a_{cf} dapat dinyatakan pada unit penampil digital.

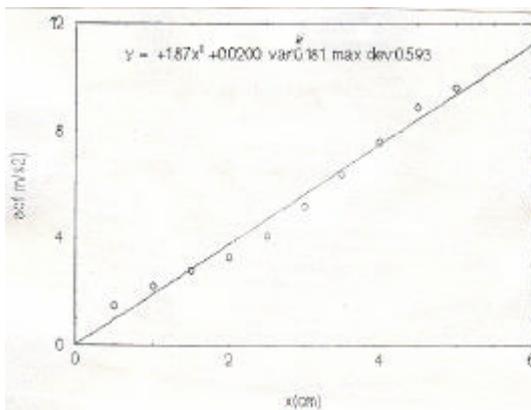


Gambar 4 Bagan hubungan antara regangan (dinyatakan oleh besarnya tahanan pada tahanan geser) terhadap tegangan keluaran.

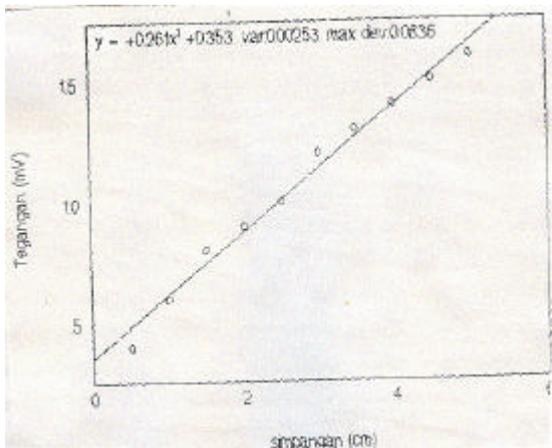
Tahap ke 3, adalah pembuatan accelerometer sentrifugal berpenampil digital. Pegas yang sudah dikarakterisasi diletakkan ke dalam *casing* yang telah dilengkapi dengan baterai, tahanan tetap dan geser, bola besi dan unit penampil digital.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar karakterisasi pegas sebagai bahan sensor accelerometer sentrifugal yang telah dipaparkan pada Metode Penelitian, sehingga diperoleh hasil yang dinyatakan pada 3 buah grafik. Ketiga grafik itu adalah: (a) percepatan sentrifugal (a_{cf}) sebagai fungsi regangan (x) pegas (Gambar 5); (b) Tegangan pada tahanan geser (V_o) sebagai fungsi x (Gambar 6); dan (c) a_{cf} sebagai fungsi V_o (Gambar 7).



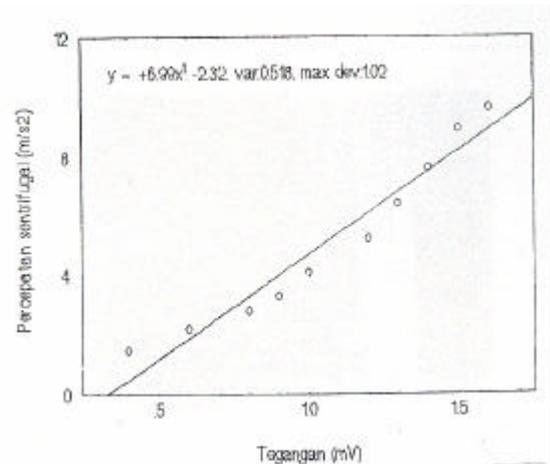
Gambar 5 Percepatan sentrifugal sebagai fungsi regangan pegas, (ralat $a_{cf} = \pm 0,1$ m/s²).



Gambar 6 Nilai tegangan pada tahanan geser sebagai fungsi simpangan pegas (ralat Tegangan $\pm 0,02$ mV).

Ketiga grafik tersebut (Gambar 5, 6, dan 7) memperlihatkan bahwa a_{cf} vs x , dan V_o vs x merupakan fungsi linear. Berikutnya, atas dasar a_{cf} fungsi x , dan x fungsi V_o sehingga diperoleh a_{cf} yang juga merupakan fungsi

linear terhadap V_o pada kawasan a_{cf} kurang dari sama dengan 9,6 m/s². Atas dasar kelinearan a_{cf} terhadap V_o , sehingga a_{cf} dapat dinyatakan ke dalam unit penampil digital (*display*). Hanya saja, mengacu Gambar 7, V_o bernilai antara 0 sampai dengan 1,5 mV, sehingga agar bisa dibaca oleh ADC maka V_o harus diperkuat 2000 kali oleh sebuah penguat linear (*OpAmp*).



Gambar 7 Percepatan sentrifugal sebagai fungsi tegangan pada tahanan geser (ralat percepatan sentrifugal dan Tegangan berturut-turut: $\pm 0,1$ m/s², $\pm 0,02$ mV).

Mengacu Gambar 7 dan hasil perakitan unit penguat linear, selanjutnya sistem itu dihubungkan dengan ADC dan sebuah display 3 digit. Berikutnya diset pada sebuah *cashing* serta penampilan luarnya diperlihatkan pada Gambar 8.

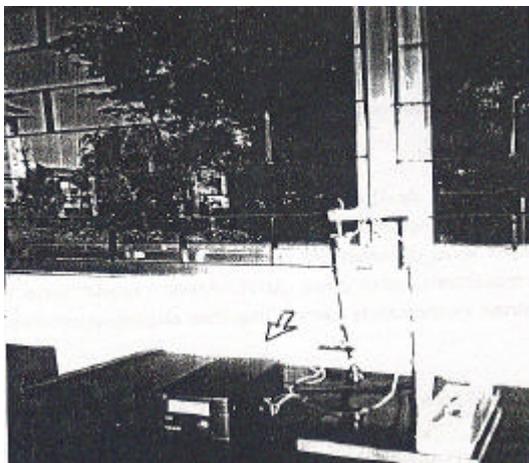
Akhirnya, prototipe itu diuji lagi dengan cara diletakkan pada pelat putar *electronic turntable*. Alat ukur percepatan (accelerometer) sentrifugal itu dapat digunakan pada kawasan ukur 0 sampai dengan 9,6 m/s². Alat ini berkemampuan untuk mengukur besar percepatan sentrifugal pada ketelitian 90%.

Besarnya ralat atau ketidakpastian (sekitar 10%) disebabkan oleh ketidakpastian yang merambat pada setiap titik data pada pengukuran x , V_o , dan a_{cf} . Ketidakpastian dari a_{cf} sendiri merupakan hasil kombinasi pengukuran panjang regangan (dengan mistar) dan pengukuran periode (dengan stroboskop).

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi sebuah accelerometer sentrifugal bersensor pegas, dan berpenampil digital. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur besar percepatan sentrifugal pada kawasan ukur 0 sampai dengan $9,6 \text{ m/s}^2$, dan berketelitian 90%.

Disarankan penelitian ini dilanjutkan, dengan memanfaatkan pegas yang lebih elastis (k bernilai lebih kecil) sehingga lebih peka terhadap perubahan nilai percepatan sentrifugal, yang akhirnya diperoleh ketelitian lebih dari 90% sehingga lebih layak untuk diproduksi dan dipasarkan. Disarankan juga agar alat ini juga diuji pada gerak translasi, sehingga juga dapat digunakan sebagai alat ukur percepatan translasi. Selanjutnya, diharapkan juga agar jejari pelat bundar *electronics turntable* diganti yang lebih besar, sehingga kawasan ukurnya bisa mencapai nilai percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$).



Gambar 8 Potret accelerometer buatan sendiri, yang menggunakan sensor pegas.

Ucapan Terimakasih

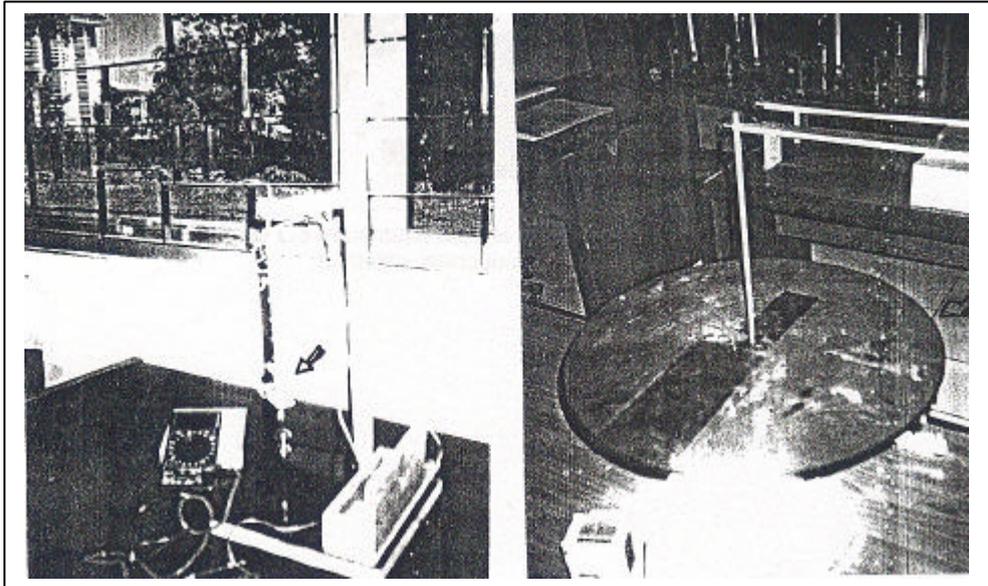
Diucapkan terimakasih kepada Saudara Prayitno (Lab. ELINS FMIPA UGM) yang telah membantu pembuatan unit penguat linear sehingga alat bisa dipasang di dalam *casing* dan berpenampil digital. Diucapkan terimakasih pula kepada Saudara

Gunadi dan Saudara Suyanto (Lab. Fisika Dasar FMIPA UGM) yang telah membantu dalam pengambilan data ketika uji karakterisasi pegas sebagai sensor percepatan sentrifugal.

Daftar Pustaka

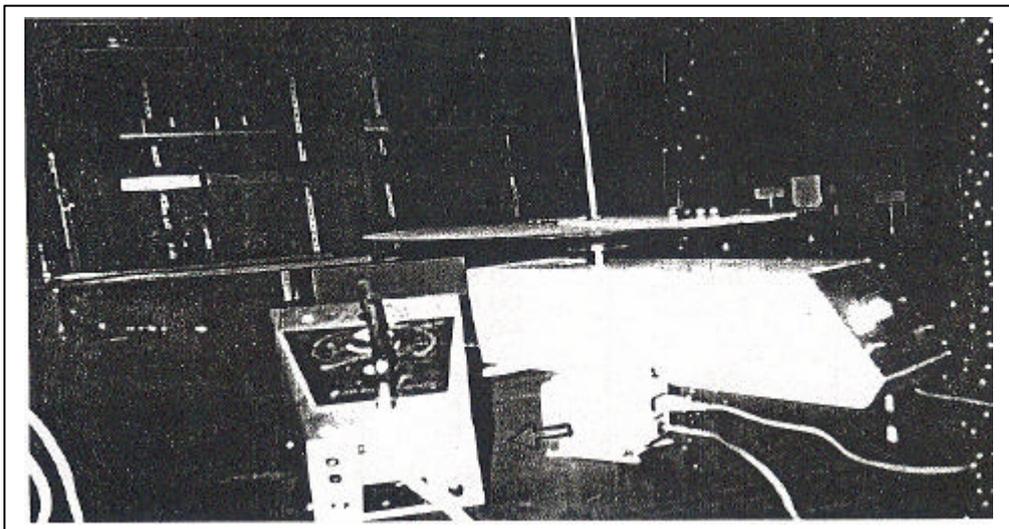
- Cooper, 1978: *Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Murdaka, B., 2005: *Fisika Dasar I untuk Mahasiswa Non MIPA, Buku Ajar*, Yogyakarta.
- Murdaka, B. dan Purwadi, B., 2001: *Pembuatan Alat Ukur Regangan Logam Bertampilan Digital, JFI*, No. 37, tahun XII, Yogyakarta.
- Murdaka, B., Irwan, Purwadi, B., 2004: *Pemanfaatan Potensiometer sebagai Transduser untuk Menentukan Koefisien Muai Panjang Batang Logam, JFI*, April 2004, Yogyakarta.
- Murdaka, B. dan Purwadi, B., 2004: *Pemanfaatan Strain Gauge untuk Alat Ukur Percepatan Sentrifugal, Majalah Berkala MIPA*, Edisi September 2004, Yogyakarta.
- Purwadi, B. dan Murdaka, B., 1999: *Pembuatan Trans-duser Suhu Cepat Tanggap Bertampilan Digital, JFI*, No. 31, tahun X, Jogjakarta.
- Usher, M.J., 1989: *Sensors and Transducers*, Macmillan Education Ltd., London.

Lampiran :



Gambar L.1 Eksperimen penentuan tetapan pegas yang dinyatakan dalam angka tetapan pegas per satuan massa bola besi.

Gambar L. 2 Sebuah *Electronic turntable* untuk menentukan percepatan sentrifugal.



Gambar L.3 Penentuan periode putaran pelat pada *electronic turntable*, menggunakan sebuah stroboskop.