

# STUDI GEJALA ARUS EDDY PADA PLAT ALUMINIUM MENGUNAKAN SOLENOID SILINDER

Zulkarnain, Erwin, Rika Sawitri

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru*

*email:zulkarnain@unri.ac.id*

## ABSTRACT

Design and experiment of Eddy current on aluminium plate using solenoid have been carried out. The magnetic field used is generated by two solenoids that connected with series and parallel combination. The solenoids were designed with a turns of 400, diameter of 3,8cm and length of 10cm. Neodymium Iron Boron magnets (NdFeB) were used as a source of magnetic field for comparison. In order to obtain higher value of the magnetic field, it is necessary to introduce ferromagnetic material (iron) as a core of the solenoid. The value of the magnetic field was measured using Pasco PS-2162 Magnetic Probe. Eddy currents generated in the plate are due to the change of magnetic flux as the plate moves back and forth between the magnetic poles. The magnetic field value of the solenoid was varied as a function of electric current and distance. The dimension of the aluminium plate is 10cm in length, 6cm in width and extended with a stick having length of 20cm. The plates were designed with one slit, three slits, and four slits and no slit. Solenoids with a ferromagnetic core were connected in series with a distance of 1.5 cm between them. The results show that the highest value of magnetic field (37.8851 mT) was produced by applying current of 7A on the circuit. Moreover, the number of oscillations of the plates is affected by the magnetic field strength and the number of strips on the plates. The more the number of strips on the plates, the more oscillations occur. This phenomenon is due to the cuts (strips) in the plate result in open circuit reducing the Eddy current greatly. For oscillation by using NdFeB, the number of oscillation was significant decrease.

Keywords: Eddy Current, Solenoid, aluminium plate and magnetic field

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk merancang dan mengamati pengaruh arus Eddy terhadap ayunan bandul yang ditimbulkan oleh sumber magnet. Sumber medan magnet berasal dari dua solenoida silinder dengan 400 lilitan, diameter 3,8cm dan tinggi 10cm serta magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB). Untuk mendapatkan nilai medan magnet yang lebih besar pada solenoid maka perlu penambahan inti menggunakan bahan ferromagnetik yaitu besi. Besarnya nilai medan magnet diukur menggunakan sensor Probe Magnetic Pasco PS-2162. Arus Eddy terjadi akibat perubahan fluks pada sumber magnet ketika plat bergerak bolak balik diantara sumber magnet. Nilai medan magnet divariasikan berdasarkan arus listrik, jarak serta solenoid yang dihubungkan secara seri dan parallel. Dimensi dari plat aluminium memiliki panjang 10cm, lebar 6cm dan panjang tangkai 20cm. Plat dirancang dengan geometri lurus yaitu tanpa celah, satu celah, tiga celah, dan empat celah. Solenoida dengan inti ferromagnetik dihubungkan secara seri dengan jarak 1,5 cm dengan arus tertinggi yaitu 7A dapat menghasilkan medan magnet sebesar 37,8851 mT, besarnya medan magnet berbanding terbalik dengan jarak. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah ayunan plat dipengaruhi oleh kuat medan magnet dan jumlah celah pada bandul. Semakin banyak jumlah celah maka jumlah ayunan semakin banyak dan waktu semakin lama diakibatkan oleh pemutusan arus Eddy yang terjadi pada celah-celah plat. Fenomena ini disebabkan oleh pemotongan (strip) pada plat disirkuit terbuka sehingga mengurangi arus Eddy. Untuk osilasi dengan menggunakan NdFeB, jumlah osilasi mengalami penurunan yang signifikan.

Kata kunci: Arus Eddy, Solenoid, plat aluminium dan medan magnet

## PENDAHULUAN

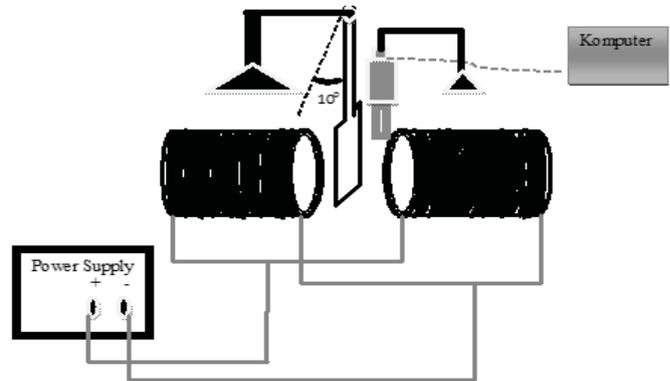
Selama beberapa dekade, telah dikembangkan penelitian dari aplikasi memanfaatkan arus Eddy diantaranya untuk meredam jumlah ayunan pada sistem yang bergetar, seperti dalam sistem pengereman magnetik dan kontrol getaran lateral pada putaran mesin. Penelitian lainnya dilakukan oleh (Karnopp dkk, 1989) yang memperkenalkan motor elektrodinamik linier yang terdiri dari kumparan tembaga dan magnet permanen yang dapat digunakan sebagai peredam elektromekanis untuk sistem suspensi kendaraan. (Teshima dkk, 1997) meneliti efek peredaman arus Eddy pada getaran yang terkait dengan levitasi superkonduktor dan hasil yang didapat menunjukkan bahwa getaran vertikal yang terukur meningkat sekitar seratus kali lipat.

Studi awal dalam mengamati arus Eddy pada sistem pengereman magnetik dapat dilakukan dengan mendemonstrasikannya melalui percobaan sebuah bandul plat, yang berayun diantara kedua kutub magnet. Demonstrasi ini dapat dilakukan dengan memvariasi kuat medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan solenoid, sehingga ayunan plat aluminium berubah terhadap perubahan fluks magnet yang dilewati oleh plat aluminium. Perbedaan waktu dan jumlah ayunan hingga berhenti menjadi suatu indikator bahwa ada pengaruh arus dalam lempengan aluminium tersebut.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen melalui beberapa tahapan pengerjaan, yaitu tahap pertama merancang komponen utama (Pembuatan bandul yang terdiri dari 4 jenis: tanpa celah, 1 celah, 3 celah dan 4 celah, pembuatan inti solenoida silinder dan pembuatan solenoida silinder sebanyak 400 lilitan), tahap kedua pengukuran induksi magnet solenoida tanpa inti dan menggunakan inti menggunakan sensor *Probe Magnetik Pasco PS-2162*,

tahap ketiga desain dan eksperimen solenoida dengan bandul, dan tahap keempat pengukuran pengaruh **B** terhadap perioda ayunan bandul relatif terhadap celah-celah.



Gambar 1. Ilustrasi pengamatan arus Eddy pada lempengan plat aluminium.

Gambar 1 merupakan ilustrasi pengamatan arus Eddy pada plat. Tahap awal pengamatan dilakukan dengan menghidupkan power supply yang dihubungkan dengan multimeter dan diteruskan pada kumparan dengan pemberian arus minimum. Selanjutnya bandul plat diayun dengan memberikan sudut sebesar  $10^0$ , waktu dihitung dengan bantuan stopwatch saat bandul mulai dilepaskan dan dilakukan perhitungan jumlah ayunan dan waktu sampai bandul berhenti. Pemberian arus dilakukan secara bertahap dengan variasi 1 A mulai dari 2A sampai 7A. Untuk setiap variasi arus dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali pengulangan. Pengambilan data sama untuk empat jenis bandul plat dan untuk kumparan yang menggunakan inti maupun tanpa inti baik dihubungkan secara seri maupun paralel.

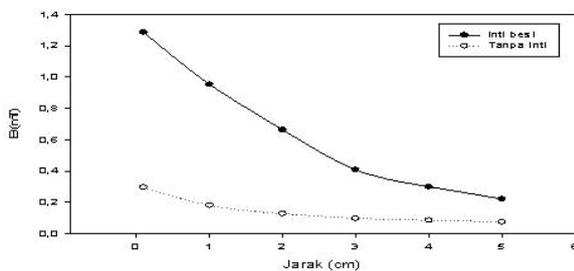
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan pengukuran kuat medan magnet terhadap jarak dan arus serta pengukuran pengaruh arus Eddy terhadap jumlah ayunan dan waktu dari empat model bandul.

### A. Hasil Pengukuran Kuat Medan Magnet Terhadap Jarak Horizontal

Pengukuran kuat medan magnet terhadap jarak horizontal pada kumparan menggunakan inti dan tanpa inti. Arus dimulai dari 2A sampai 7A dan jarak yang diberikan antara sensor ke pusat permukaan kumparan yaitu 0,1cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, dan 5cm.

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar jarak pengukuran maka kuat medan magnet semakin kecil. Kuat medan magnet terbesar pada jarak 0,1 cm sebesar 1,2870 mT dengan menambahkan inti, sedangkan tanpa inti sebesar 0,29718 mT. Kuat medan magnet terkecil pada jarak 5 cm yaitu 0,2213 mT dengan inti dan 0,0755 mT tanpa inti. Berdasarkan hasil pengukuran ini, kuat medan magnet pada solenoida 400 lilitan mampu menghasilkan kuat medan magnet dalam orde mT.



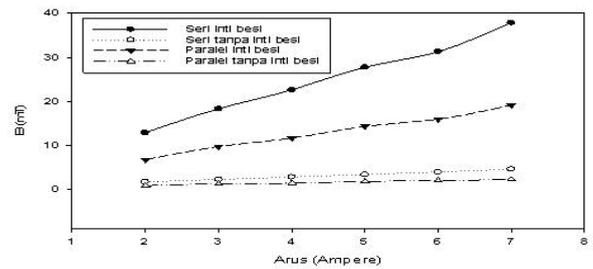
Gambar 2. Hubungan kuat medan magnet (mT) terhadap jarak (cm) dengan inti bahan dan tanpa inti bahan ferromagnetik.

Bahan ferromagnetik (besi) dapat meningkatkan kuat medan magnet, hal ini disebabkan oleh Medan magnet dari masing-masing atom dalam bahan ferromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi diantara atom-atom tetangganya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membentuk kelompok-kelompok yang dinamakan dengan domain. Bahan ferromagnetik sebelum diberi medan magnet luar mempunyai domain dengan momen

magnet yang acak, sehingga apabila bahan ini diberi medan magnet dari luar, maka domain-domain ini akan mensejajarkan diri searah dengan medan magnet dari luar. Semakin kuat medan magnetnya semakin banyak domain-domain yang mensejajarkan dirinya. Akibatnya medan magnet dalam bahan ferromagnetik akan semakin kuat.

### B. Hasil Pengukuran Kuat Medan Magnet Pada Kedua Kumparan Hubungan Seri Dan Paralel.

Pengukuran kuat medan magnet pada kedua kumparan yang dihubungkan secara seri dan paralel. Kumparan diberi jarak 1,5cm antara satu dengan yang lain, variasi arus yang diberikan dari 2A sampai dengan 7A.



Gambar 3. Hubungan kuat medan magnet terhadap arus yang dihubungkan secara seri dan paralel dengan menggunakan inti bahan ferromagnetik dan tanpa inti.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kuat medan magnet terhadap arus berbanding lurus, dimana semakin besar arus maka kuat medan magnet yang terukur juga semakin besar. Semakin besar arus maka garis-garis gaya magnet yang ditimbulkan semakin banyak sehingga kuat medan magnet semakin kuat. Kenaikan tajam terdapat pada grafik untuk hubungan seri dengan inti, hal ini dikarenakan pada hubungan seri dua kutub yang berdekatan tidak sejenis, sehingga akan menghasilkan garis-garis gaya magnet yang saling tarik menarik. Arus 7A menghasilkan kuat medan magnet dari kumparan yang dihubungkan

secara seri dengan inti sebesar 37,8851 mT dan tanpa inti yaitu 4,6263 mT. Sedangkan secara paralel dua kutub yang berdekatan sejenis, sehingga garis-garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara masing-masing cenderung saling menolak karena arah garis gaya berlawanan. Kumparan yang dihubungkan secara paralel dengan inti untuk arus yang sama, nilai kuat medan magnet yang diperoleh sebesar 19,1373 mT sedangkan tanpa inti sebesar 2,2930 mT.

### C. Hasil Pengukuran Jumlah Ayunan Bandul Sebagai Fungsi Geometri

Tabel 1 menampilkan data jumlah ayunan dan waktu yang dibutuhkan bandul tanpa adanya pengaruh medan magnet. Hasil yang didapatkan bahwa bandul yang paling cepat berhenti terdapat pada bandul empat celah (IV) dengan jumlah ayunan sebanyak 9-10 kali, sedangkan bandul yang paling lama berhenti terdapat pada bandul tanpa celah dengan jumlah ayunan sebanyak 14-15 kali.

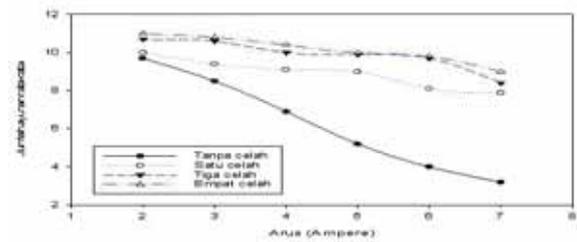
**Tabel 1.** Hubungan jumlah ayunan terhadap waktutanpa medan magnet

Ayunan rata-rata				Waktu ayunan rata-rata (s)			
I	II	III	IV	I	II	III	IV
14	13	12	10	14,17	12,25	12,02	9,2
14	13	12	10	14,32	12,49	11,94	9,56
14	13	12	9	13,56	12,72	11,8	8,55
14	13	12	9	13,46	12,26	11,96	9,71
14	13	12	9	13,72	12,5	11,91	9,55
14	13	12	9	13,68	12,7	11,95	9,47
15	13	12	9	14,17	12,45	12	8,97
15	13	12	9	15,34	12,54	11,88	9,43
15	13	12	9	14,75	12,12	11,96	8,8
15	13	12	9	14,49	12,7	11,8	9,23

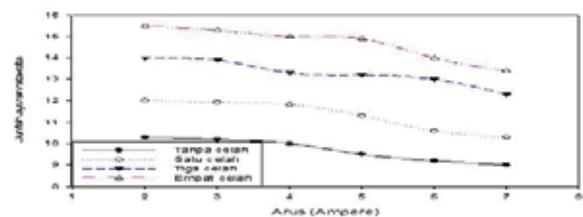
Hasil pengukuran ini menunjukkan semakin banyak celah pada bandul maka jumlah ayunan dan waktu yang dibutuhkan hingga bandul berhenti semakin kecil.

Perbedaan jumlah ayunan dan waktu yang dibutuhkan bandul dengan pengaruh medan magnet dapat dilihat pada grafik hubungan jumlah ayunan terhadap arus

seperti Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

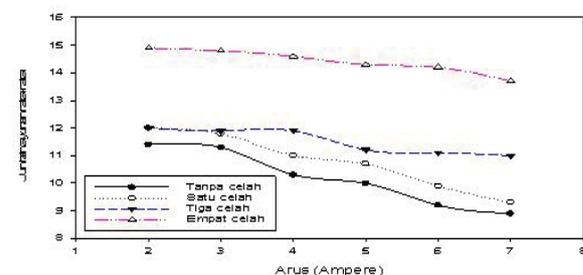


Gambar 4. Hubungan jumlah ayunan terhadap arus pada kumparan seri dengan inti.

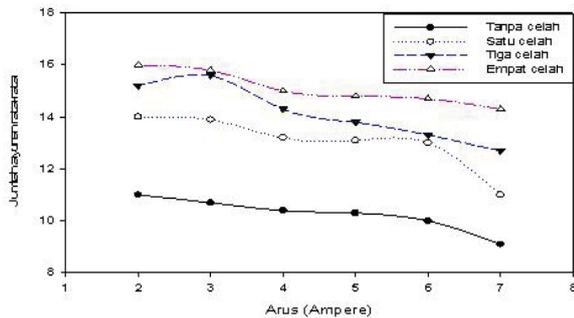


Gambar 5. Hubungan jumlah ayunan terhadap arus dari kumparan yang dihubungkan secara paralel dengan inti bahan ferromagnetic

Secara umum bandul plat dengan celah memiliki jumlah ayunan lebih besar dibandingkan tanpa celah seperti yang terlihat pada Gambar 3. Semakin banyak celah pada bandul, maka jumlah ayunan semakin besar. Menurunnya jumlah ayunan untuk bandul plat dengan celah dan tanpa celah disebabkan oleh adanya arus Eddy dalam bandul plat. Menurut hukum lenz, arah arus Eddy menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan yang menyebabkan arusnya.



Gambar 6. Hubungan jumlah ayunan terhadap arus dari kumparan yang dihubungkan secara seri tanpa inti ferromagnetik.



Gambar 7. Hubungan jumlah ayunan terhadap arus dari kumparan yang dihubungkan secara paralel tanpa inti bahan ferromagnetik.

Oleh karena alasan ini, arus Eddy haruslah menghasilkan kutub-kutub magnet yang efektif pada lempengan yang ditolak oleh kutub-kutub dari magnet. Hal ini membuat munculnya gaya tolak yang melawan gerak lempeng. Sehingga arus Eddy dan gaya hambatnya semakin besar dan mengakibatkan bandul berhenti bergerak. Sedangkan untuk bandul yang memiliki celah arus Eddy dan gaya hambat magnetiknya menjadi sangat jauh berkurang. Ini berarti pada bandul yang memiliki banyak celah terjadi pemutusan arus Eddy yang berdampak pada besarnya jumlah osilasi dan lamanya waktu berhenti. Jika lempengannya dibuat selamaka arus Eddy dan gaya hambat magnetiknya menjadi sangat jauh berkurang. Kita dapat memahami hal ini dengan menyadari bahwa sela-sela pada lempengan mencegah terbentuknya loop-loop arus yang besar.

Fenomena ini dapat dijelaskan secara dinamika, bahwa tanpa pengaruh medan magnet jumlah ayunan bergantung pada massa, momen inersia dan jarak poros ke pusat massa. Perubahan nilai pada momen inersia dipengaruhi oleh massa bandul plat, semakin banyak celah pada bandul maka pengurangan massa semakin besar. Perubahan nilai pada periode bandul selain dipengaruhi oleh momen inersia juga

dipengaruhi oleh pusat massa. Semakin banyak celah pada bandul maka pusat massanya semakin kecil, sehingga tanpa pengaruh medan magnet bandul empat celah memiliki nilai periode yang lebih besar dibandingkan bandul plat lainnya.

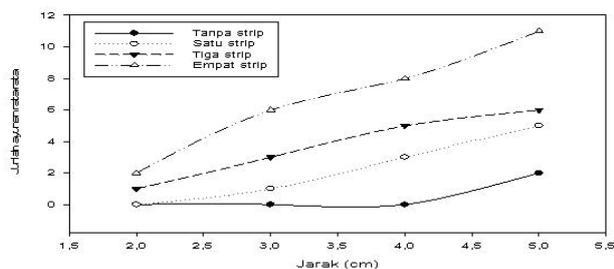
Tabel 2. Perbedaan periode bandul tanpa medan magnet dengan menggunakan medan magnet (7A).

Bandul	T eksperimen tanpa medan magnet	T dengan medan magnet (Seri, inti)	T dengan medan magnet (Paralel, inti)
Tanpa celah	0.9838	1,0306	1,0033
Satu celah	0.9594	0,9963	0,9988
Tiga celah	0.9935	0,9920	0,9483
Empat celah	1.0064	0,9683	0,9947

Periode bandul yang bergerak dalam daerah medan magnet dipengaruhi oleh arus Eddy yang dapat diamati pada banyaknya jumlah ayunan dan lamanya waktu yang dibutuhkan bandul saat mulai bergerak sampai bandul berhenti. Semakin banyak ayunan bandul semakin lama waktu yang dibutuhkan, begitu juga sebaliknya, sedangkan bandul yang bergerak tanpa pengaruh medan magnet periodenya bergantung pada massa dan momen inersia, sehingga hubungan antara ketika adanya pengaruh medan magnet dan tanpa adanya medan magnet dilihat dari periode perbedaannya tidak terlalu signifikan, perbedaan yang mencolok lebih terlihat pada jumlah osilasi dan waktu pada setiap perlakuan.

#### D. Hasil Pengukuran Jumlah Ayunan Menggunakan Magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB)

Gambar 8 merupakan grafik membandingkan jumlah ayunan terhadap besarnya kuat medan magnet yang bersumber dari magnet Neodymium Iron Boron.



Gambar 8. Grafik jumlah ayunan terhadap jarak dari magnet neodmium iron boron.

Posisi kurva keempat menunjukkan nilai jumlah ayunan terbesar pada bandul empat celah, dibandingkan dengan tiga bandul lainnya. Bandul tanpa celah pada jarak 1 cm sampai 4 cm jumlah ayunannya 0. Tidak adanya ayunan pada jarak tersebut menunjukkan bahwa kuat medan magnet yang ditimbulkan oleh neodmium iron boron cukup besar dibandingkan dengan solenoida yang lilitannya adalah 400.

## KESIMPULAN

Model observasi arus Eddy telah berhasil dibuat pada plat logam aluminium dengan mendesain solenoida yang memiliki 400 lilitan, diameter 3,8 cm dan panjang 10 cm.

Nilai kuat medan magnet pada solenoida yang dirangkai secara seri menghasilkan kuat medan magnet 37,8851 mT menggunakan inti besi dan 4,6263 mT tanpa menggunakan inti. Sedangkan secara paralel nilai kuat medan magnetnya adalah 19,1373 mT menggunakan inti besi dan tanpa inti sebesar 2,2930 mT.

Bandul tanpa celah dan tidak pengaruh medan magnet menghasilkan jumlah ayunan lebih besarkarena jumlah ayunan di pengaruhi oleh periode dan momen inersia, sedangkan dengan pengaruh medan magnet bandul tanpa celah menghasilkan jumlah ayunan lebih kecil karena adanya arus Eddy yang terbentuk pada plat akibat perubahan fluks pada sumber magnet ketika plat bergerak bolak balik diantara sumber magnet.

Periode secara eksperimen didapatkan dengan hubungan jumlah ayunan dan waktu, sedangkan secara teoritis didapatkan dengan hubungan momen inersia dan pusat massa. Secara eksperimen membuktikan bahwa tanpa pengaruh medan magnet bandul empat celah menghasilkan jumlah ayunan lebih kecil.

Penggunaan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) sebagai sumber magnet menyebabkan jumlah ayunan menurun secara drastis. Penurunan ini dikarenakan oleh kuat medan magnet yang digunakan sangat besar, sehingga menghasilkan jumlah ayunan pada bandul semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aliouane, S., Hassam, M., Badidi Bouda, A., and Benchaala, A. 2000. *Electro acoustic transducers (EMATs) design evaluation of their performances*. In Proceedings of the 15th World Conference on NDT (WCNDT 2000), Rome, Italy.
- Bahtiar, A. 2007. *Listrik Magnet II*, pdf. Universitas Padjadgara: Bandung.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika*. Edisi Kelima Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Karnopp, D. 1989. *Permanent Magnet Linear Motors Used as Variable Mechanical Damper for Vehicle Suspensions*, Veh. Syst. Dynam.
- Larose, G. L., Larsen A., and Svensson, E. 1995. *Modeling of Tuned Mass Dampers for Wind-tunnel Tests on a Full-bridge Aeroelastic Model*, J. W. Eng. Indust. Aerodynam.
- Halliday, D and Resnick, R. 1978. *Physics* (3<sup>rd</sup> edition). New York: Jhon Wiley & Sons. Inc.

- Teshima,H., Tanaka,M., Miyamoto, K., Nohguchi, K.,and Hinata, K. 1997.*Effect of Eddy Current Dampers on the Vibrational Properties in Superconducting Levitation using Melt-processed YbaCuO bulk Superconductors*, Physic C.
- Noorian, F. and Sadr, A. May 2010. *Computation of transient Eddy currents in EMATs using discrete Picard Method*.In Proceedings of the 18th Iranian Conference on the Electrical Engineering (ICEE 2010), Isfahan, Iran.
- Serwey and Jewett. 2010. *Physics for scientists and angineers with modern physics. Fisika untuk sains dan teknik buku 1 edisi 6*. Jakarta : salemba teknika.
- Serwey and Jewett. 2010. *Physics for scientists and angineers with modern physics. Fisika untuk sains dan teknik buku 2 edisi 6*. Jakarta : salemba teknika.
- Serway, R. A. 1986. *Physics for Scientist & Engineers with Modern Physics Third Edition*. James Madison University.
- Shujuan, W., Penghao, X., Lei, K.,and Guofu, Z. 2010.*Research on influence of lorentz force mechanism on EMAT's transduction efficiency in steel plate*. In Proceedings of the 5th IEEE Conference on Industrial Elektroniks and Applications (ICIEA2010), Taichung, Taiwan.
- Tipler, Paul A. 1998.*Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Tipler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta : Penerbit Erlangga.