

Identifikasi Getaran Bearing Motor Listrik Menggunakan Sensor Piezoelektrik dan Neural Network

Jufrizel¹

Jurusan Teknik Elektro UIN SUSKA Riau
Jl. H.R Soebrantas KM.15 Simpang Baru Panam-Pekanbaru
telp (0761)589026-589027/fax(0761)589025
e-mail: jufrizel_74@yahoo.com

Abstrak

Identifikasi suatu getaran mesin listrik merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan baik tidaknya suatu instrumen mekanik dari mesin listrik tersebut. Getaran dari mesin listrik ini dapat memberikan informasi yang penting apakah instrumen dari suatu mekaniknya berada dalam kondisi baik atau dalam kondisi rusak. Hal ini harus dilakukan analisa melalui analisa getaran dengan menggunakan sensor Piezoelektrik. Sensor Piezoelektrik merupakan salah satu alternatif sensor getaran yang memiliki kelebihan bentuk fisik yang kecil, relatif lebih murah, dan daya yang dibutuhkan kecil. Dalam penelitian ini, untuk mendeteksi sinyal getaran kerusakan bearing maka digunakan sensor Piezoelektrik HYT-3015B sebagai sensor getaran yang akan mendeteksi perbedaan sinyal getaran bearing dari dua buah mesin pompa air Dabori 108C. Satu mesin memiliki bearing yang normal sedangkan mesin yang lain memiliki bearing yang rusak. Metode analisa getaran ini menggunakan Discrete Fourier Transform (DFT) yang berfungsi untuk merubah suatu sinyal dalam daerah waktu ke dalam daerah discrete frekwensi yang terpisah. Neural Network Backpropagation digunakan untuk mengidentifikasi data getaran secara on-line melalui pelatihan. Dari hasil pelatihan Neural Network diperoleh hasil kesimpulan percobaan dari dua kondisi bearing yang berbeda dari dua buah mesin Dabori 108C dengan tingkat keberhasilan yaitu kondisi bearing bagus 80% dan kondisi bearing rusak 100%.

Kata kunci: identifikasik; piezoelektrik; discrete fourier transform; bearing; neural network backpropagation.

1. Pendahuluan

Mesin listrik merupakan mesin produksi yang tidak bisa dipisahkan dalam dunia industri. Ketergantungan pemakaian mesin-mesin listrik yang terus menerus ini mengakibatkan motor listrik akan mengalami penurunan efisiensi kerja dan bahkan mungkin mengalami kerusakan. Salah satu gejala kerusakan yang sering terjadi adalah kerusakan bearing pada motor listrik tersebut. Begitu juga dengan besarnya getaran yang dihasilkan motor listrik dapat dijadikan sumber analisa kerusakan motor tersebut karena getaran yang berlebihan dapat melemahkan daya maupun menimbulkan suara yang tidak diinginkan seperti noise.

Keselamatan, keandalan, dan efisiensi perputaran suatu mesin menjadi perhatian utama di dalam industri. Tugas dari monitoring kondisi dan mendiagnosa kerusakan dari kesalahan perputaran mesin adalah sangat penting sekali, tetapi ini sering menyulitkan [1]. Ini disebabkan karena kurangnya arus start besar sekitar 3 sampai 5 kali dari arus nominal dan putarannya relatif konstan atau sulit diatur. Pada hal dalam pemakaian motor listrik kadang-kadang yang diinginkan putaran yang dapat berubah sesuai dengan putaran beban, dengan pengaturan perpindahan putaran yang halus (smooth) dan range lebar, misalnya pada blower atau exhaust fan penyegar udara pada laboratorium gedung kimia dan lain-lain. Hal tersebut diperlukan dengan tujuan antara lain untuk mengurangi besarnya arus start, meredam getaran dan hentakan mekanis saat starting. Karena itu banyak dilakukan usaha bagaimana cara mengatur putaran motor induksi tersebut. Salah satunya adalah dengan cara mengubah frekuensi catu daya yang masuk ke motor untuk mengatur kecepatan motor [2]. Pada umumnya kecepatan putar motor induksi yang akan diumpembalikan ke pengendali diukur dengan menggunakan sensor kecepatan seperti tachogenerator atau encoder. Namun sering penggunaan sensor kecepatan ini dinilai kurang efektif, karena selain harganya yang relatif mahal, penggunaan sensor kecepatan juga dipengaruhi oleh kondisi tinggi rendahnya putaran motor, sehingga untuk putaran motor rendah sensor tidak mampu mendeteksi putaran dengan presisi [3]. Kerusakan Bearing dapat digolongkan ke dalam 3 golongan sesuai dengan elemen yang berikut yaitu kerusakan outer raceway, kerusakan inner raceway dan kerusakan bola [4].

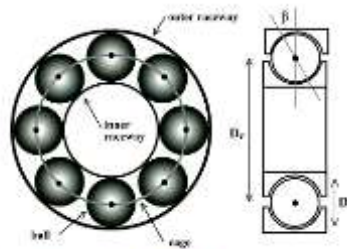


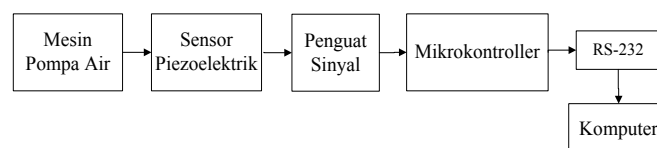
Fig. 1. Geometri of a rolling-element bearing.

Gambar 1. Geometri dari sebuah elemen rolling bearing

Simulasi getaran digunakan untuk membantu pada perancangan berbagai strategi diagnosa kerusakan bearing motor rolling [5]. Discrete Fourier Transform (DFT) diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritma dengan mengalikan bilangan bulat besar. DFT mengambil suatu discrete-signal dalam daerah waktu dan mengubah bentuk sinyal tersebut ke dalam daerah discrete frekwensi yang terpisah. Tanpa suatu discrete-time ke discrete-frequency transform, kita tidak akan bisa menghitung Fourier transform dengan suatu mikroprosesor atau DSP yang berbasis sistem. Hal ini menjadi kecepatan dan discrete yang alami dari DFT untuk menganalisa suatu spektrum sinyal. Piezoelektrisitas adalah suatu kemampuan dari beberapa material (khususnya Kristaldan keramik tertentu) untuk menghasilkan suatu electric potential sebagai respon atas penerapan tekanan mekanik. Ini mungkin mengambil format suatu pemisahan dari muatan elektrik yang menyeberang ke kisi kristal. Jika material ini tidak short circuited beban yang diterapkan mempengaruhi suatu tegangan yang berpindah ke material tersebut. Kata Piezo ini berasal dari Yunani yaitu Piezo atau piezein yang berarti menekan atau tekan [6]. Adapun sifat-sifat piezoelektrik banyak dijumpai pada beberapa material baik yang berasal dari keramik maupun polimer. Pada penelitian sebelumnya dari Kobayashi Institute of Phisycal Research Kokubunji, Tokyo, menemukan material polimer yang diberi nama polyvinylidene fluoride yang saat itu disingkat PVF2 yang populer disebut PVDF [7]. Dalam penelitian ini dilakukan studi pengkajian untuk merancang dan membuat suatu sistem sensor getaran motor listrik dengan menggunakan sensor piezoelektrik sebagai sensor getaran yang kemudian sinyal output dari sensor piezoelektrik ini akan dianalisa dengan menggunakan Discrete Fourier Transform sehingga menjadi diskrit frekuensi. Output dari Discrete Fourier Transform sebagai diskrit frekuensi akan diproses oleh Neural Network sehingga akan diketahui jenis-jenis kerusakan yang ada pada motor induksi tersebut.

2. Metodologi Penelitian

Rancang bangun sistem deteksi getaran terdiri dari rancang bangun secara hardware maupun software. Rancang bangun sistem deteksi getaran secara hardware terdiri dari mesin pompa air, sensor Piezoelektrik, penguat sinyal, Mikrokontroler ATMEGA 32 yang didalamnya sudah terdapat ADC dan komunikasi serial RS-232 dan komputer yang berisikan program software yang berfungsi untuk proses pengambilan data getaran dan pemrosesan data getaran dengan menggunakan metode DFT dan identifikasi getaran menggunakan Neural network. Perancangan sistem hardware dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok hardware seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



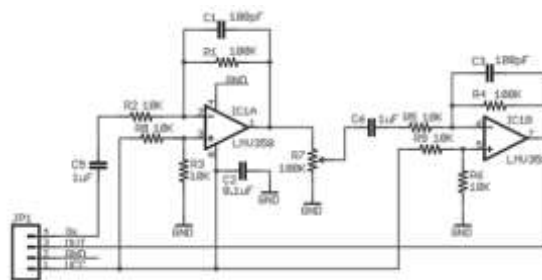
Gambar 2. Diagram blok hardware sistem analisa vibrasi

Mesin pompa air yang digunakan berjumlah 2 buah dengan merek yang sama yaitu merek Dabori model 125C, 220volt, 50hz dengan speed 2850 rpm. Sensor piezoelektrik yang digunakan adalah piezoelektrik HYT-3015B. Peletakkan sensor piezo pada mesin pompa air seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi sensor dilihat dari (a) belakang mesin pompa air (b)depan mesin pompa air

Penguat sinyal yang digunakan adalah penguat sinyal dengan menggunakan LMV358 seperti pada Gambar 4. Penguat sinyal berfungsi untuk menguatkan sinyal dari sensor getaran agar dapat dibaca oleh ADC.

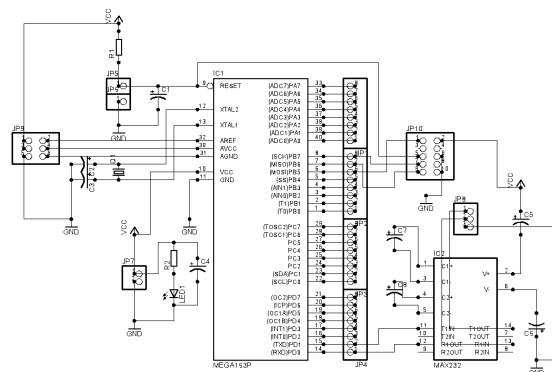


Gambar 4. Rangkaian penguat sinyal LMV358

Dari rangkaian instrumentasi penguat sinyal ini membuat output dari sensor piezo menjadi 10x dengan perhitungan:

$$V_o = m(V_{\text{sensor}} - V_{\text{pot}})$$

Oleh karena output dari sensor piezo saat tidak ada getaran adalah sama dengan 2,5V maka diperlukan potensiometer yang berfungsi untuk mengkompensasi tegangan dari sensor piezo agar sama dengan 0V sesuai dengan persamaan di atas. Untuk keperluan akuisisi data, mikrokontroler digunakan untuk mengkonversi sinyal analog ke digital atau berfungsi sebagai ADC (Analog to Digital Converter), juga sekaligus mengirimkan sinyal digital ke komputer melalui komunikasi serial. Sinyal getaran yang dideteksi oleh Piezoelektrik sebelum diproses oleh PC menggunakan teknik DFT, terlebih dahulu dilakukan konversi dengan menggunakan ADC yang ada dalam modul Mikrokontroler DT AVR Atmega 32. Mikrokontroler DT AVR Atmega 32 memiliki arsitektur RISC 10-bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit (16-bits word) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 (satu) siklus clock. AVR berteknologi Reduced Instruction Set Computing (RISC), sedangkan seri MCS51 berteknologi Complex Instruction Set Computing (CISC). Untuk proses konversi yang dimanfaatkan dari AVR ini adalah ADC sebanyak 2 channel sebagai pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital dari sensor getaran Piezoelektrik serta USART sebagai penghubung/antarmuka antara mikrokontroler dengan PC. Gambar 5 adalah skema sistem mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 5. Skematik sistem mikrokontroler atmega 32

Proses inialisasi ADC meliputi proses penentuan clock, tegangan referensi, format output data dan mode pembacaan. Register yang perlu diset nilainya adalah ADMUX (ADC Multiplexer Selection Register), ADCSRA (ADC Control and Status Register A) dan SFIOR (Special Function IO Register).

Untuk ADC Clock Frequency yang digunakan adalah 345.600 KHz, untuk tegangan referensi yang digunakan adalah AVCCpin, mode operasi yang digunakan adalah mode free running dan data bit yang berisikan nilai data pengukuran dengan ukuran 8 bit yang ditampilkan. Karena ADC di seting pada 8 bit maka output yang dihasilkan adalah dari 0 sampai 256. Jika masukan analog 0 volt maka keluaran hasil konversi adalah 0, jika masukan sama dengan referensi maka hasil konversi adalah 256. Berikut ini adalah program inialisasi dan pembacaan ADC pada CodeVision AVR:

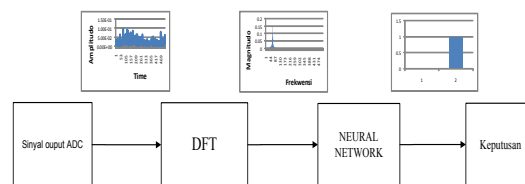
```
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 345.600 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x85;
```

Untuk transfer data dari Hardware ke komputer memerlukan sarana komunikasi yang disebut USB to RS-232 secara serial, dan mikrokontroler juga memiliki sarana komunikasi data serial yang disebut USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter).

Baudrate yang digunakan adalah 115200 bps. Untuk satu kali pengiriman serial, ada beberapa bit yang berperan yaitu start bit, data bits, parity bit, dan stop bit. Untuk setingan komunikasi serial yang digunakan adalah 1 start bit, 8 data bit, 1 stop bit, dan no parity bit. Pada penerima, bit yang pertama kali akan diterima adalah start bit. Kemudian disusul dengan data bit yang berisikan nilai data pengukuran dengan ukuran 8 bit. Dimana bit LSB diterima terlebih dahulu, dan bit MSB di akhir. Berikut ini adalah cuplikan program inialisasi serial komunikasi pada CodeVisionAVR:

```
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 115200
UCSRA=0x00;
UCSRB=0xD8;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x05;
```

Personal Computer (PC) yang berisikan program software yang berfungsi untuk proses pengambilan data getaran dan pemrosesan data getaran dengan menggunakan metode DFT dan identifikasi getaran menggunakan Neural network. Rancang bangun sistem deteksi getaran secara software terdiri dari DFT dan Neural Network. Adapun blok diagram softwarenya seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok software sistem analisa vibrasi

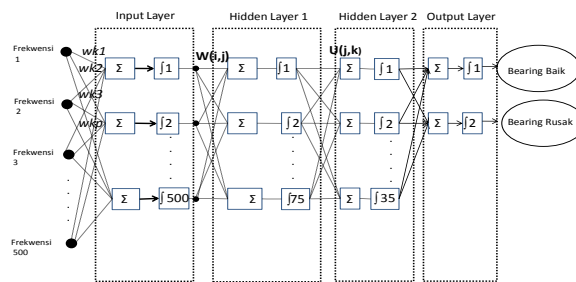
Rancang bangun sistem deteksi getaran secara software terdiri dari sinyal output adc, Discrete Fourier Transform, dan Neural Network yang menghasilkan keputusan. Sinyal ouput adc berupa frekwensi time domain, DFT berfungsi mengubah sinyal frekwensi dari time domain ke frekwensi domain. Lalu output dari DFT menjadi input untuk Neural Network. Output dari Neural Network berupa keputusan berupa bearing baik atau bearing rusak.

Discrete fourier transform: Pengambilan data getaran dari sensor piezo menggunakan Discrete Fourier Transform dilakukan sebanyak frekwensi sampling dibagi 2. Setelah menemukan bilangan kompleks dari Fourier Transform x_r & x_i maka perlu diimplementasikan ke dalam grafik untuk mengetahui frekwensi yang muncul.

Proses Pengambilan Data Getaran: Setelah data getaran didapat, lalu dikirim melalui komunikasi serial, kemudian di PC diolah dengan menggunakan metode Discrete Fourier Transform (DFT) dan Neural Network untuk diidentifikasi ketidaknormalannya.

Proses Analisa Data: Setelah data getaran didapat sebesar nilai 1000hz, maka proses selanjutnya adalah analisa data getaran dengan menggunakan metode Discrete Fourier Transform (DFT).Oleh karena frekwensi sampling yang digunakan adalah 1000Hz, maka frekwensi DFT yang dapat dianalisa sampai 500Hz karena frekwensi maksimum yang dapat dideteksi = $\frac{1}{2}$ x Frekwensi sampling.

Neural Network : Data getaran dari sensor piezoelektrik masuk ke mikrokontroler dan selanjutnya diproses oleh DFT dan diidentifikasi dengan menggunakan Neural Network. Neural Network hanya untuk mengidentifikasikan antara bearing bagus dengan bearing rusak pada 2 mesin pompa air. Untuk Neural Network ini menggunakan 500 node pada input layer dan memiliki hidden layer 2 lapisan. Hidden layer 1 memiliki 75 node dan Hidden layer 2 memiliki 35 node. Sedangkan output layer memiliki 2 node. Gambar 7 menunjukkan Neural Network identifikasi bearing.



Gambar 7. Jaringan syaraf tiruan identifikasi bearing

Proses Pembelajaran Data Getaran: Data getaran bearing harus melalui pembelajaran untuk memperoleh bobot (weight) yang tepat untuk proses identifikasi dari bearing. Dengan input Neural Network untuk bearing sebanyak 500 node dengan 2 output layer. Masing-masing variasi data diambil sample sebanyak 10 kali. Sehingga akan didapat total 20-patern untuk proses pembelajaran/pelatihan..

Proses pembelajaran dilakukan dengan memasukan parameter learning rate, forgetting factor dan hidden layer untuk mendapatkan bobot $W(i,j)$, $U(i,j)$ dan $V(i,j)$ dan cara mendapatkan nilai error MSE sesuai dengan yang diinginkan. Bobot-bobot hasil pembelajaran kemudian disimpan untuk kemudian digunakan untuk aplikasi identifikasi bearing. nilai target output dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Target Output Jaringan Saraf Tiruan Untuk Bearing

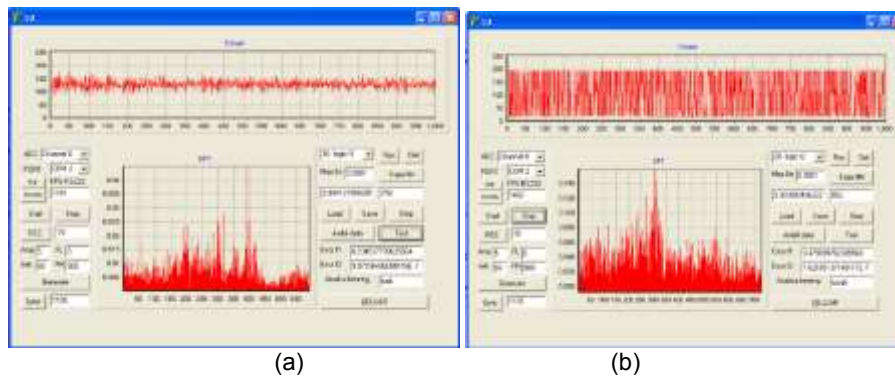
No	Kondisi	Target Output	
1	Baik	1	0
2	Rusak	0	1

Setelah memasukkan semua parameter tersebut kemudian Neural Network secara langsung akan melakukan proses pembelajaran dengan memperbaharui bobot hingga mencapai MSE yang dikehendaki. Jika belum tercapai maka looping akan terus dilakukan hingga MSE telah tercapai. Jika telah tercapai maka bobot akan disimpan sebagai hasil akhir proses pembelajaran dan nantinya akan digunakan dalam proses identifikasi bearing.

Proses Identifikasi Ketidaknormalan: Pada proses identifikasi ketidaknormalan bearing, prinsip dasar yang digunakan adalah proses forward dari Neural Network dengan menggunakan bobot yang paling baru dari proses pembelajaran yang telah dilakukan sebelumnya. Sistem dilakukan dengan menggunakan metode On line measurement.

3. Analisa Hasil

Pelatihan Neural Network yang digunakan adalah jenis Neural Network backpropagation. Proses pelatihan yang diberikan untuk Neural Network ini adalah diberikan contoh pola untuk 2 kondisi bearing yaitu kondisi bearing baik dengan beban dan kondisi bearing rusak dengan beban. Seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil sinyal DFT dari pelatihan neural network (a) sinyal bearing bagus (b) sinyal bearing rusak

Pelatihan dilakukan dengan parameter node 1 = 75, node 2 = 35, learning rate (μ)=0,8, forgetting Factor(α)=3 dan target error = 0,0001. Hasil nilai actual target dari hasil learning seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Actual Target Hasil Pelatihan Identifikasi Bearing Neural Network

Sample ke	Kondisi Bearing	Target Output	Actual Target
1	Baik	1 0	0,23 9.97E-07
2	Baik	1 0	0,22 9.97E-07
3	Baik	1 0	0,26 9.97E-07
4	Baik	1 0	0,26 9.97E-07
5	Baik	1 0	9.97E-07 9.97E-07
6	Baik	1 0	9.97E-07 9.97E-07
7	Baik	1 0	0,27 9.97E-07
8	Baik	1 0	0,18 9.97E-07
9	Baik	1 0	0,26 9.97E-07
10	Baik	1 0	0,23 9.97E-07
11	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
12	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
13	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
14	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
15	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
16	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
17	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
18	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
19	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47
20	Rusak	0 1	7,6 E-07 0.47

Hasil kesimpulan keseluruhan percobaan seperti pada tabel 3

Tabel 3. Hasil Kesimpulan Keseluruhan Percobaan Sistem Identifikasi Bearing

Percobaan	Kondisi	Dikenali	% error
10	Baik	8	20
10	Rusak	10	0

Dari hasil kesimpulan percobaan sistem identifikasi bearing pada tabel 3 masih terdapat error sebesar 20% karena masih adanya kesamaan karakter sinyal bearing rusak dan bearing bagus.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil perancangan, pembuatan dan pengujian sistem pada penelitian tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Piezoelektrik yang dirancang mampu untuk mengukur dan mendeteksi adanya kerusakan pada bearing yang ada di kedua mesin pompa air Dabori 108C.
2. Dari hasil perhitungan DFT terlihat perbedaan untuk tiap-tiap kondisi bearing yang dideteksi, yaitu kondisi bearing yang bagus/normal frekuensi dominan yang terbaca sekitar 400hz dan kondisi bearing yang rusak frekuensi dominan yang terbaca sekitar 300hz.
3. Dari hasil pelatihan JST diperoleh hasil dengan tingkat keberhasilan yaitu kondisi bearing bagus 80% dan kondisi bearing rusak 100%.

Daftar Pustaka

- [1] Sumanto, "Motor Listrik Arus Bolak-balik," Andi Offset Yogyakarta, Edisi pertama, 1993.
- [2] A.E. Fitzgerald, Djoko Cahyanto, 1992, "Mesin–Mesin Listrik," Erlangga, Edisi ke empat, Jakarta, 1992.
- [3] Akhmad Musafa, 2007 Kompensasi Kenaikan Tahanan Rotor Berdasarkan Kesalahan Arus Magnetisasi Pada Simulasi Pengendalian Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan, Tesis, Universitas Indonesia, 2007.
- [4] Martin Blödt, Member, IEEE, Pierre Granjon, Bertrand Raison, Member, IEEE, and Gilles Rostaing (2008), "Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors Using Stator Current Monitoring".
- [5] Bo Li, Mo-Yuen Chow, Yodyium Tipsuwan, James C. Hung, Fellow, IEEE, 2000
- [6] Holler, F. James; ; Skoog, Douglas A; Crouch, Stanley R (2007). "Chapter 1". *Principles of Instrumental Analysis* (6th ed.). Cengage Learning. p. 9. ISBN 9780495012016.
- [7] Kawai, H., Nakamura, S. Mimuro, M., Furuya M. and Watanabe, M. 1996. Microspectrofluorometry of the autofluorescent flagellum in phototactic brown algal zoids. *Protoplasma* 191(3/4): 172-177.