

# Desain dan Uji Kinerja *Contactless Digital Tachometer* Dilengkapi Fitur Keluaran Tegangan Analog

Putut Son Maria<sup>1</sup>, Ahmad Rendy<sup>2</sup>

UIN SUSKA RIAU

Jl HR Soebrantas KM 15 Panam - Pekanbaru, (0761) 562223

e-mail: putut.son@uin-suska.ac.id<sup>1</sup>, rendy.silver7@gmail.com<sup>2</sup>

## Abstrak

*Tachometer adalah instrumen yang memiliki fungsi untuk mengukur kecepatan rotasi sebuah obyek. Produk tachometer komersil sebagian besar hanya memiliki satu fitur saja yaitu menampilkan hasil pengukuran pada panel display. Hal ini menjadi masalah jika diterapkan pada sistem monitoring kontinyu dan pada sistem umpan balik. Sinyal atau informasi dari piranti ukur biasanya dinyatakan dalam bentuk besaran listrik jika ingin dijadikan sebagai sinyal umpan balik. Penelitian ini bertujuan untuk membangun tachometer dan mengukur kinerja sebuah tachometer yang memiliki fitur display dan output data analog. Komponen sensorik yang digunakan adalah photodiode untuk mendeteksi reflective-obstacle, dan metode perhitungan putaran obstacle menggunakan algoritma event-driven interrupt. Pengolah sinyal pada penelitian ini menggunakan arduino uno. Informasi rpm dari tachometer ditampilkan pada LCD dan dalam bentuk tegangan analog melalui rangkaian digital to analog(DAC) dengan konstruksi R-2R ladder beresolusi 8 bit. Data hasil pengujian menunjukkan akurasi tachometer pada penelitian ini mencapai 98.6 % dan tachometer mampu mengukur secara baik pada jarak maksimal 9 cm dari obyek.*

**Kata kunci:** *contactless digital tachometer, analog output featured, event-driven interrupt*

## 1. Pendahuluan

Dalam konteks sistem kendali, jenis pengendalian lup tertutup memiliki salah satu ciri-ciri yaitu adanya sinyal umpan balik yang yang masuk ke *summing point* dan *controller* sebagai nilai yang dianggap *real-time* atau *actual value*. Sinyal umpan balik dihasilkan dari sensor yang dipasangkan atau harus berada dekat dengan plant[1]. Salah satu contoh plant pada pada aplikasi sistem kendali lup tertutup adalah motor.

Beberapa produk motor servo kecepatan telah dilengkapi dengan rangkaian terintegrasi sehingga data kecepatan *spindle* motor tersedia dalam bentuk besaran yang dapat langsung diumpankan ke *controller*. Pada sistem atau produk motor yang lebih konvensional, sebagian besar motor belum dilengkapi dengan sistem servo dan ini menjadi salah satu kendala pada saat ingin mengembangkan sistem yang sudah ada menjadi lebih modern.

Instrumen pengukur kecepatan putaran(tachometer) yang banyak diperjualbelikan biasanya hanya memiliki fitur display; sangat sedikit yang memiliki fitur komunikasi data[2][3]. Hal ini berarti bahwa tachometer tersebut tidak mungkin dijadikan sebagai instrumen yang menghasilkan sinyal umpan balik bagi *controller*. Penelitian ini bertujuan membangun tachometer non-kontak yang memiliki dengan fitur keluaran tegangan analog dan mengukur akurasi tachometer hasil rancangan serta perbandingan kinerjanya dengan tachometer komersil yang tidak memiliki fitur output data analog.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Perancangan perangkat keras

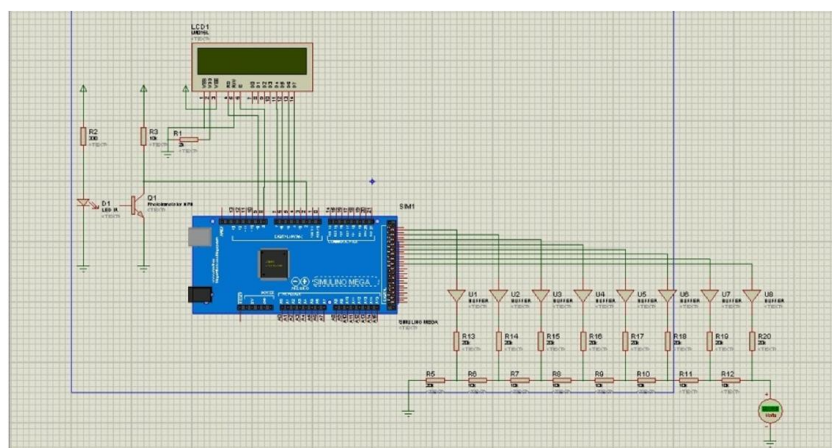
Gambar 1 menunjukkan ilustrasi metode yang dapat diaplikasikan pada perancangan *contactless tachometer*. Skenario pada gambar 1.a menggunakan encoder dan belum tentu mudah diaplikasikan pada sistem konvensional yang sudah ada karena memerlukan encoder yang harus dipasangkan pada spindle motor. Selain itu sempitnya celah pada sensor optocoupler akan membuat akurasinya mudah terpengaruh jika kebetulan plant dalam kondisi ruang yang mudah kotor[4].

*Contactless tachometer* pada penelitian ini menggunakan metode gambar 1.b, yaitu menggunakan reflector untuk memantulkan cahaya laser dari transmitter. Jenis sumber cahaya yang dipilih adalah laser karena memiliki sifat koheren, hal ini akan memudahkan prediksi arah sinar pantulan dari reflector yang menuju ke photodiode.



Gambar 1.a Deteksi obstacle menggunakan encoder  
 1.b Deteksi obstacle menggunakan reflector

Skema rangkaian contactless tachometer ditunjukkan pada gambar 2. Komponen untuk tampilan menggunakan liquid crystal display(LCD) dengan spesifikasi 16 x 2, dimensi ini diperlukan karena untuk menampilkan informasi kecepatan putaran dan tegangan keluaran dari tachometer, format tampilan pada LCD adalah besaran – satuan. Keluaran besaran tegangan analog ditetapkan hanya sebatas kemampuan maksimum rangkaian digital to analog(DAC) R-2R dengan resolusi 8 bit.



Gambar 2. Skema rangkaian contactless tachometer

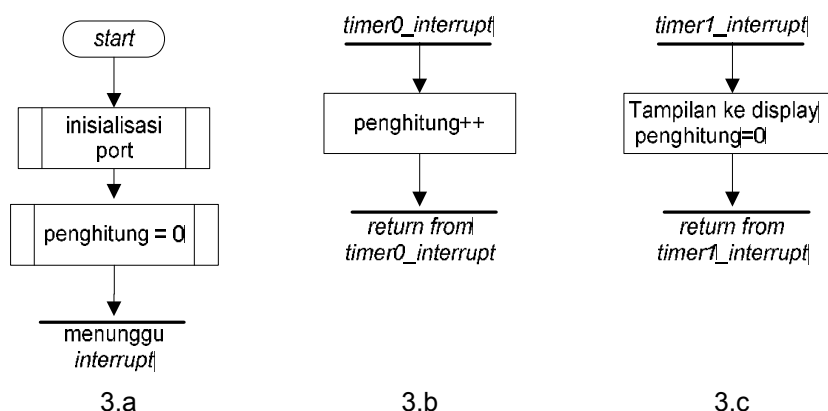
## 2.2 Perancangan algoritma program

Gambar 3 menunjukkan diagram alir algoritma program untuk penelitian ini. Skenario program pada penelitian ini diringkas sebagai berikut :

- Sinyal pantulan dari reflector masuk ke pin timer 0, setiap putaran spindle motor akan menghasilkan 1 pantulan reflector. Setiap terjadi pantulan maka akan menginterupsi mikrokontroler(arduino), dalam hal ini timer 0 difungsikan sebagai counter yang di-drive oleh interupsi.
- Timer 1 akan menghasilkan interupsi setiap 1 detik. Dengan mengatur nilai register timer 1, maka dapat dikondisikan agar timer 1 menghasilkan interupsi setiap 1 detik. Pada saat terjadi interupsi oleh timer 1, maka vektor interupsi pada timer 1 akan menampilkan hasil perhitungan counter ke LCD.

Pada penelitian ini, sinyal dari sensor diumpankan ke timer 0 dari arduino. Timer pada mikrokontroler tersebut sebenarnya dapat berfungsi ganda baik sebagai timer atau counter. Perhitungan rpm didasarkan pada algoritma bahwa sistem harus dapat menghitung jumlah putaran dalam rentang waktu 1 menit. Hal ini berarti bahwa sistem harus selalu mawas bilamana dan kapan saja ada sinyal dari sensor. Jika sistem lengah walaupun sesaat, maka sinyal akan terlewat begitu saja dan akan mengakibatkan kesalahan hitung, tingkat kesalahan akan semakin besar jika putaran shaft motor semakin kencang. Oleh karena itu untuk

mengurangi risiko kesalahan hitung, mikrokontroler(arduino) harus dikondisikan menunggu bilamana terjadi atau muncul pulsa sewaktu-waktu.



Gambar 3.a diagram alir program utama  
Gambar 3.b interrupt driven untuk penghitung pulsa dari reflector  
Gambar 3.c interrupt driven untuk menampilkan hasil pengukuran

Gambar 3.a menunjukkan diagram alir program utama untuk perhitungan pulsa dari sensor. Dari diagram alir tersebut terlihat bahwa mikrokontroler hanya menunggu atau berjaga-jaga terus sampai muncul adanya interupsi. Timer 0 difungsikan sebagai penghitung/counter dimana pada saat timer 0 berfungsi sebagai counter, transisi logika yang terjadi pada pin T0 dapat dikondisikan agar menghasilkan interupsi pada mikrokontroler. Program pada vektor interupsi pada timer 0 ditunjukkan pada gambar 3.b. Baris perintah yang tertulis pada vektor interupsi timer 0 hanyalah menambahkan hitungan pulsa terhadap variabel penghitung sebesar 1 hitungan deret cacah. Jumlah baris perintah pada vektor interupsi harus seminimal mungkin agar mikrokontroler tidak melewatkan pulsa yang masuk ke pin T0, hal ini karena pada dasarnya tugas tachometer hanya menghitung jumlah putaran per satuan waktu.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Kalibrasi

Pengujian tachometer pada penelitian ini dilaksanakan menggunakan sumber pulsa yang relevan. Satu sumber pulsa menggunakan function generator dengan mensetting output pulsa berbentuk square wave dengan amplitudo maksimal 5 volt. Perbedaan antara function generator dengan shaft motor terletak pada teknis pembangkitan pulsa dan satuan waktu yang digunakan. Dengan menggunakan function generator, pengujian akan lebih menguntungkan karena sinyal dari function generator dapat dijadikan sinyal referensi untuk keperluan kalibrasi.

Besaran frekuensi yang diumpankan ke tachometer divariasikan mulai 0.03 hz sampai 150 hz. Besaran 0.03 hz ekuivalen dengan 2 rpm dengan asumsi hanya 1 obstacle pada shaft motor, besaran ini juga didasarkan pada spesifikasi tachometer komersial yang mampu mengukur rpm terkecil hingga 2 rpm. 150 hz ekuivalen dengan 9000 rpm dengan asumsi yang sama seperti di atas. Besaran 9000 rpm adalah kecepatan rating motor universal yang biasanya memang dirancang untuk berputar pada kecepatan tinggi. Dengan demikian, tachometer yang dirancang pada penelitian ini sekaligus mengakomodasi spesifikasi teknis untuk peralatan laboratorium.

#### 3.2. Pengukuran terhadap motor 1 fasa 3000 rpm

Gambar 4 menunjukkan bentuk gelombang yang masuk ke timer 0. Pada saat pengukuran menggunakan 2 reflector untuk menambah tingkat sampling pantulan sinar laser dari reflector.

Sinyal low-state adalah manifestasi dari reflektor yang dipasang pada shaft motor. Interval dari low-state sekaligus merepresentasikan jarak spasial reflektor yang terpasang pada shaft motor. Jarak reflektor dipasang sedemikian rupa sehingga berjarak setengah keliling shaft motor. Jarak reflektor yang terpisah sejauh setengah keliling shaft motor bertujuan agar pada

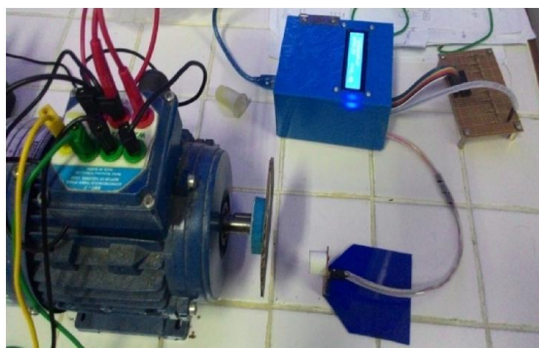
saat interupsi maka kontroler(arduino uno) memiliki cukup waktu untuk mengeksekusi vektor interupsi. Jika jarak antar reflektor terlalu dekat, maka sangat mungkin sementara prosesor sedang mengeksekusi vektor interupsi maka sudah muncul sinyal interupsi ke-2 sehingga akan mengacaukan total akumulasi hitungan pada counter.

Karena menggunakan 2 reflector dan diukur setiap 1 detik, maka untuk mendapatkan putaran setiap menit harus dikalikan dengan 60 sehingga menghasilkan 6000 rpm(rotation per minute). Nilai ini sebanding dengan 3000 rpm jika menggunakan 1 reflector saja. Hasil ini sesuai dengan name-plate motor yang digunakan untuk pengujian, secara tidak langsung hasil ini juga membuktikan bahwa pemilihan sensor photodiode dan laser dapat bekerja secara baik.



Gambar 4. Pengukuran pada motor 1  $\phi$  pada 3000 rpm, 2 reflector

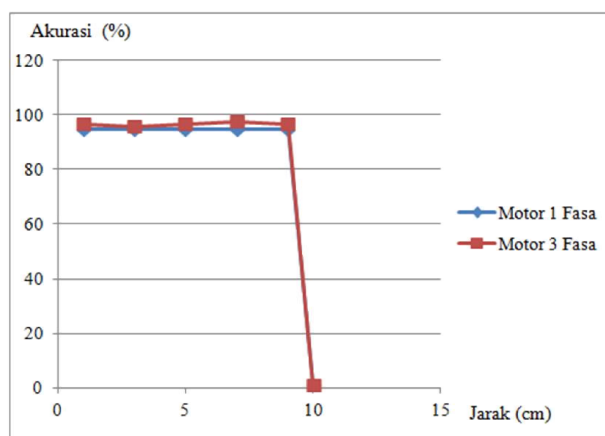
Gambar 5 menunjukkan hasil fisik tachometer pada saat digunakan untuk pengukuran langsung ke motor AC 1 fasa. Dimensi dari tachometer masih terlalu besar jika dibandingkan dengan portable tachometer komersil yang beredar di pasaran. Hal ini menjadi tantangan tersendiri agar pada penelitian berikutnya dimensi dari tachometer dapat lebih *compact*.



Gambar 5. Pengukuran pada motor 1  $\phi$

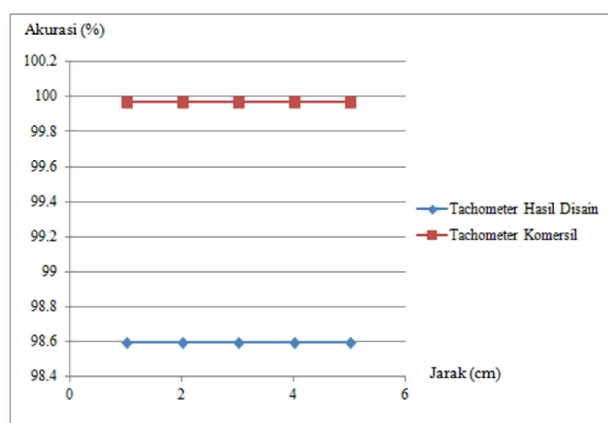
### 3.3. Pengujian terhadap variasi jarak dan perbandingan kinerja

Gambar 6 menunjukkan kurva karakteristik akurasi tachometer sebagai fungsi dari jarak. Akurasi dari tachometer hasil penelitian ini menunjukkan trend yang relatif stabil di kisaran 96 sampai 99 %. Hal ini berarti kinerja tachometer termasuk konsisten dan dapat diandalkan. Namun demikian kemampuan jangkauan terhadap obstacle maksimum hanya 9 cm, lebih jauh dari 9 cm maka tachometer gagal mengukur secara akurat. Hal ini disebabkan bahwa semakin jauh jarak obstacle terhadap sensor, maka cahaya hasil pantulan reflector mengalami refraksi dan nilainya berbanding lurus terhadap jarak obstacle terhadap sensor. Sebab lainnya adalah sudut dan intensitas cahaya hasil pantulan akan mengalami bias dan sulit untuk sampai ke sensor, sehingga sensor gagal mendeteksi adanya berkas sinar pantulan.



Gambar 6. Pengukuran dengan jarak bervariasi

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kinerja antara tachometer komersil dengan tachometer hasil disain. Pengujian pada kondisi, waktu dan ruang yang sama ternyata akurasi dari tachometer produk pabrikan(komersil) lebih baik. Selisih akurasi antara tachometer pabrikan dengan hasil disain sendiri berkisar 1.2 sampai 1.4 %. Nilai ini sebanding dengan putaran spindle sebesar 36 rpm sampai 42 rpm( ~ 0.6 sampai 0.7 rps).



Gambar 7. Perbandingan kinerja tachometer

### 3.4. Batasan keluaran tegangan analog

Pada penelitian ini nilai DAC maksimum diasumsikan ekivalen dengan putaran 3000 rpm, sehingga kondisi ideal tegangan output DAC adalah 5 volt. Tetapi pada praktiknya tegangan output DAC pada saat diberikan input 255 desimal( = FF hex) hanyalah 3.72 volt. Sehingga resolusi DAC menjadi terkoreksi sebesar  $\frac{3.72}{255} = 0.0146 \text{ volt/bit}$

Tabel 1 menunjukkan beberapa sampel tegangan output analog relatif terhadap hasil pengukuran putaran spindle. Data selengkapnya sengaja tidak ditampilkan karena terlalu banyak, tetapi dari hasil rekap tabel 1 direpresentasikan pada gambar 8. Kecenderungan data menunjukkan bahwa rangkaian DAC menunjukkan gejala yang konsisten linear dengan hasil pengukuran rpm. Hal ini membuktikan bahwa pada penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan fitur tegangan output analog pada contactless tachometer walaupun kemampuan maksimum besaran tegangan analog masih terdapat kesalahan.

Tabel 1. Output tegangan analog dan ekuivalensinya dengan rpm

| Desimal | Kecepatan (rpm) | Biner    | Tegangan (v) |
|---------|-----------------|----------|--------------|
| 0       | 0               | 00000000 | 0            |
| 1       | 11,76           | 00000001 | 0,0146       |
| 36      | 423,36          | 00100100 | 0,4964       |
| 37      | 435,12          | 00100101 | 0,511        |
| 36      | 423,36          | 00100100 | 0,4964       |
| 37      | 435,12          | 00100101 | 0,511        |
| 102     | 1199,52         | 01100110 | 1,46         |
| 103     | 1211,28         | 01100111 | 1,4746       |
| 104     | 1223,04         | 01101000 | 1,4892       |
| 140     | 1646,4          | 10001100 | 2,0148       |
| 141     | 1658,16         | 10001101 | 2,0294       |
| 173     | 2034,48         | 10101101 | 2,4966       |
| 174     | 2046,24         | 10101110 | 2,5112       |
| 207     | 2434,32         | 11001111 | 2,993        |
| 208     | 2446,08         | 11010000 | 3,0076       |
| 224     | 2634,24         | 11100000 | 3,2412       |
| 225     | 2646            | 11100001 | 3,2558       |
| 226     | 2657,76         | 11100010 | 3,2704       |
| 253     | 2975,28         | 11111101 | 3,6938       |
| 254     | 2987,04         | 11111110 | 3,7084       |
| 255     | 2998,8          | 11111111 | 3,723        |



Gambar 8. Kurva karakteristik tegangan output analog terhadap rpm

#### 4. Kesimpulan

Tachometer yang dibangun pada penelitian ini telah dapat bekerja secara baik tanpa memerlukan kontak dengan *spindle* motor atau *obstacle* berputar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai akurasi tachometer pada penelitian ini berhasil mencapai 98,6 % dan jarak spasial terjauh adalah 9 cm antara *obstacle* dengan tachometer. Output tegangan analog menunjukkan karakter kurva yang relatif linear terhadap kecepatan putar obstacle, hal berarti bahwa algoritma program yang digunakan pada kontroler mampu bekerja secara akurat pada bandwidth rpm yang cukup lebar. Tachometer yang dibangun pada penelitian ini akan bermanfaat untuk digunakan pada skala laboratorium atau pada aplikasi praktis pada motor yang memiliki rating putaran rendah sampai menengah yang tidak lebih dari 3100 rpm.

#### Daftar Pustaka

- [1] Hanapi Ali, Nazrul Effendy, Rachmawan Budiarto. Rancang Bangun Sistem Pengukuran Putaran Sudu Turbin Dan Perekam Data Berbasis Mikrokontroler Avr Atmega16 Pada Turbin Angin Di Pantai Baru, Ngentak, Bantul. *Seminar Nasional Applied Science And Technology Innovation 2012 (Astechnova 2012)* ISSN: 2086-0005; Yogyakarta, 22 November 2012.
- [2] M.Herdi, A. Sofwan. Sistem Pengolahan Signal Sebagai Pengukuran Kecepatan Motor Menggunakan Wireless. *Proceedings Komputer dan Sistem Intelijen(KOMMIT2004)* ISSN : 1411-6286; 25 Agustus 2004.
- [3] Nitin Singh, Raghuvir S. Toma. Design of a Low-Cost Contact-Less Digital Tachometer with Added Wireless Feature. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* ISSN: 2278-3075, Volume-3, Issue-7, December 2013.
- [4] Md. Masud Rana, Md. Sahabuddin, Shourov Mondol. Design and Implementation of a Digital Tachometer. *International Journal of Scientific Engineering and Technology* ISSN : 2277-1581, Volume No.5 Issue No.1, pp: 85-88 01 Januari 2016.
- [5] Ahmad Rendy. Rancang Bangun Dan Analisis Kinerja Portable Digital Contactless Tachometer Berbasis Arduino Mega. Skripsi Teknik Elektro UIN SUSKA RIAU; 21 Desember 2015.