

DESAIN SISTEM KENDALI KECEPATAN DAN *COUNTER* PUTARAN BERBASIS TEKNOLOGI OTOMASI PADA INDUSTRI KECIL DAN MENENGAH

Eko Prianto¹, K. Ima Ismara², Andik Asmara³

^{1,2,3}Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
Kampus Karangmalang, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281 Telp 0274 548161
Email: eko.teladan@gmail.com

Abstrak

Proses produksi di suatu industri memerlukan penerapan teknologi otomasi di dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas produk yang akan dihasilkan. Teknologi otomasi di dalam suatu proses produksi diaplikasikan dalam tahapan-tahapan mulai dari input, proses dan output yang dihasilkan. Industri kecil dan menengah memerlukan penerapan sistem otomasi. Teknologi otomasi yang diterapkan di industri kecil dan menengah berkaitan dengan pengurangan keterlibatan tenaga manusia dalam beberapa proses produksi, misalnya pada proses pencampuran/mixing, menggulung suatu bahan, menghitung suatu putaran yang masih menggunakan proses mekanik tanpa didukung dengan proses otomasi secara elektronis terprogram. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mengimplementasikan suatu proses otomasi berbasis pada penghitungan/ counter putaran suatu mesin (proses pencampuran atau penggulangan), pengaturan kecepatan putar dan menghentikan putaran mesin setelah proses berjalan sesuai setting yang telah ditetapkan, sehingga proses dilakukan secara lebih cepat dan otomatis.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat suatu desain sistem otomasi yang diterapkan pada proses penghitungan besaran putaran dan pengaturan kecepatan suatu mesin produksi di industri kecil dan menengah. Tahapan penelitian ini diawali dengan membuat desain, mensimulasikan dan mengimplementasikannya dalam suatu rangkaian kendali otomatis. Software yang digunakan untuk membuat sistem otomasi ini menggunakan CodeVisionAVR C Compiler yang digunakan untuk memprogram IC Mikrokontroler ATmega 32. Analisis yang dilakukan adalah analisis kinerja alat berdasarkan rangkaian yang telah dibuat dan analisis kode program. Penelitian ini menghasilkan suatu alat kendali otomatis berbasis penghitungan/counter putaran dan pengaturan kecepatan dengan menggunakan sistem elektronis terprogram yang dapat diterapkan pada sistem produksi di industri kecil dan menengah yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas sistem produksi.

Kata kunci: *Otomasi, pengaturan kecepatan, penghitungan putaran, proses produksi*

Pendahuluan

Otomasi memiliki tujuan untuk lebih mendukung kenyamanan, keselamatan dan kesehatan manusia yang selanjutnya memperbaiki bahkan mengatasi keterbatasan manusia dalam rangka peningkatan produktivitas kerja. Otomasi merupakan penggabungan antara perangkat mekanik dan elektronik untuk menggantikan sebagian kemampuan tenaga kerja manusia. Saat ini proses otomasi di industri telah menuju pada penggunaan program komputer untuk diaplikasikan pada pengendalian peralatan industri, baik menggunakan *interface* yang terhubung langsung dengan alat produksi, sehingga pengendalian dilakukan melalui komputer ataupun menggunakan *chip* mikrokontroler untuk menyimpan program dan instruksi untuk peralatan yang dikendalikan, sehingga pengendalian dilakukan langsung pada alat dengan menginputkan intruksi melalui *keypad* atau peralatan input lainnya (*sensor* dan *transducer*). Penerapan proses otomasi dengan menggunakan program komputer saat ini telah banyak diaplikasikan di industri besar, sedangkan untuk industri kecil dan menengah belum banyak diterapkan, sehingga perlu untuk diadakan penelitian yang berkaitan dengan penerapan otomasi ini di berbagai bidang yang berkaitan dengan pengembangan industri kecil dan menengah.

Proses otomasi digunakan pada sistem kontrol dan teknologi informasi untuk mengurangi pekerjaan yang dikerjakan manusia didalam sistem produksi. Proses otomasi pada bidang industri mengurangi keterlibatan manusia sebagai operator. Sistem otomasi didefinisikan sebagai suatu teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem yang berbasis komputer (komputer, *Programmable Logic Control/ PLC* atau mikrokontroler).

Semuanya bergabung menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap manipulator (mekanik) sehingga memiliki fungsi tertentu. Terdapat tiga elemen dasar yang menjadi syarat mutlak bagi sistem otomasi, yaitu *power*, *program of instruction*, sistem kendali yang kesemuanya untuk mendukung proses sistem otomasi tersebut (Pambudi, 2008).

Power atau sumber energi dari sistem otomasi digunakan untuk mengoperasikan beberapa proses dan menggerakkan serta mengendalikan semua komponen dari sistem otomasi. Bahasa pemrograman sangat diperlukan pada sistem kontrol yang menggunakan komputer dan keluarganya (PLC maupun mikrokontroler). Kompilasi bahasa pemrograman yang digunakan memberi fasilitas pada programmer untuk mengimplementasikan program aplikasi. Kompiler mengubah statemen yang tertulis dari program menjadi informasi yang dapat dimengerti oleh komputer. Komputer menggunakan instruksi yang dituliskan untuk mendefinisikan urutan operasi yang dieksekusi. Sistem kontrol mutlak diperlukan dalam sistem otomasi. Sistem kontrol merupakan bagian inti yang mengatur keseluruhan sistem. Saat ini sistem kontrol yang paling sering digunakan dalam suatu sistem otomasi adalah menggunakan komputer (PLC atau mikrokontroler).

Penerapan sistem otomasi di dalam industri berdasar atas ide dasar dari sistem otomasi yaitu penggunaan sistem elektrik dan/atau sistem mekanik untuk menjalankan mesin atau alat tertentu, membuat program sehingga dapat digunakan sebagai otak yang mengendalikan mesin atau alat, bertujuan agar produktivitas meningkat dan menurunkan biaya produksi. Secara umum sistem otomasi dapat didefinisikan sebagai suatu teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik elektronik dan sistem yang berbasis komputer (komputer, PLC atau mikrokontroler) yang semuanya bergabung menjadi satu untuk memberikan fungsi terhadap manipulator (mekanik) sehingga memiliki fungsi tertentu.

Sebuah contoh yaitu penelitian yang dilakukan oleh Mulyadinata (2009) dengan membuat alat pembuat lilitan pada *transformator* dan motor listrik. Alat pembuat lilitan pada sistem ini memiliki rangkaian input dimana *photo transistor* yang mendeteksi cahaya infra merah. Selanjutnya *phototransistor* ini akan memberikan input pada komparator. Proses yang terjadi pada komparator adalah jika tegangan input pada kaki negatif (-) lebih tinggi dari kaki positif (+), maka output komparator menghasilkan tegangan 0V atau logika *low*. Pada rangkaian *driver*, *driver* motor disulut dari pin mikrokontroler PA.7. Rangkaian *driver* motor disulut dengan dua buah transistor NPN dan dua buah *relay*.

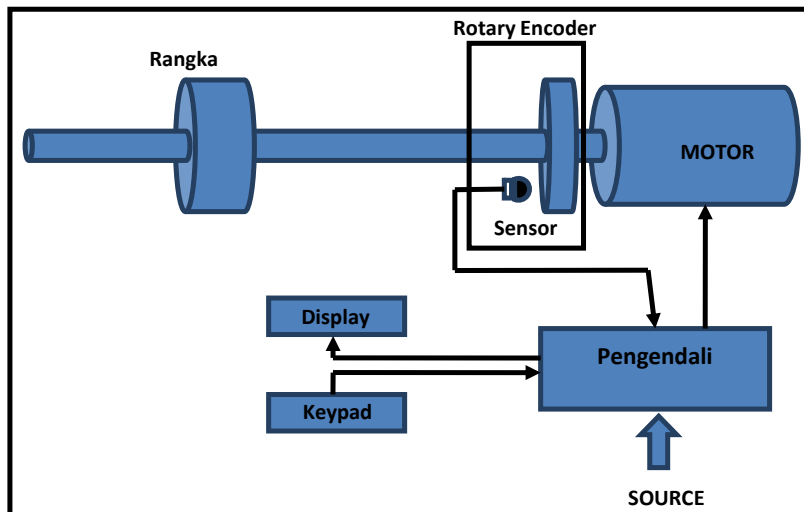
Kelebihan alat yang telah dibuat yaitu alat bisa lebih akurat dalam perhitungan jumlah lilitan sehingga kesalahan dalam perhitungan jumlah lilitan dapat dihindari, waktu yang diperlukan untuk membuat lilitan bisa lebih cepat dibandingkan dengan membuat lilitan secara manual, proses perhitungan jumlah lilitan yang sedang berlangsung akan tampil pada layar LCD, apabila terjadi kawat email putus maka motor akan berhenti secara otomatis. Kekurangan alat yang telah dibuat yaitu mempunyai penggerak berupa motor AC 110V dengan satu kecepatan sehingga alat ini hanya memiliki satu kecepatan saja, karena alat pencetak lilitan berupa miniatur sehingga hanya dapat digunakan untuk membuat lilitan pada motor dengan daya dibawah 3 HP, baterai *back up* hanya digunakan untuk rangkaian *control* dan penampilan LCD sedangkan untuk rangkaian utama untuk *supply* tegangan ke motor tidak ada, sehingga alat ini apabila listrik mati tidak bisa digunakan secara otomatis.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuat sebuah alat yang berfungsi sebagai *controller* kecepatan dan *counter* putaran yang memiliki sensitifitas yang tinggi sehingga kecepatan sebuah mesin dalam berputar dapat diatur dan jumlah putaran dapat dikendalikan, sehingga proses dalam suatu sistem produksi dapat dikendalikan dengan menerapkan sistem otomasi. Sistem otomasi yang dibuat berupa kode program yang disimpan dalam sebuah chip mikrokontroler yang berfungsi untuk mengendalikan putaran dan menghitung jumlah putaran dengan menggunakan input berupa *optoisolator* dan output berupa pengendalian tegangan output ke motor untuk pengaturan kecepatannya dan pengendalian *ON/OFF relay* untuk memulai dan menghentikan proses. Berdasarkan saran penelitian diatas, sistem yang dibuat memiliki memori penyimpanan proses, sehingga apabila proses berhenti karena listrik padam, memori ini tetap menyimpan kondisi akhir dari proses yang telah dikerjakan dan melanjutkan kembali proses tersebut setelah sumber energi listrik kembali tersedia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu rancangan alat pengendali kecepatan dan jumlah putaran yang dapat diterapkan pada suatu proses produksi. Alat ini diharapkan dapat bermanfaat dalam mendukung suatu sistem produksi yang memerlukan pengendalian kecepatan dan penghitungan jumlah putaran seperti pada proses membuat lilitan/ gulungan, proses pencampuran suatu bahan dengan cara mengaduk dalam suatu sistem produksi dimana proses ini masih dilakukan secara manual di beberapa industri kecil dan menengah.

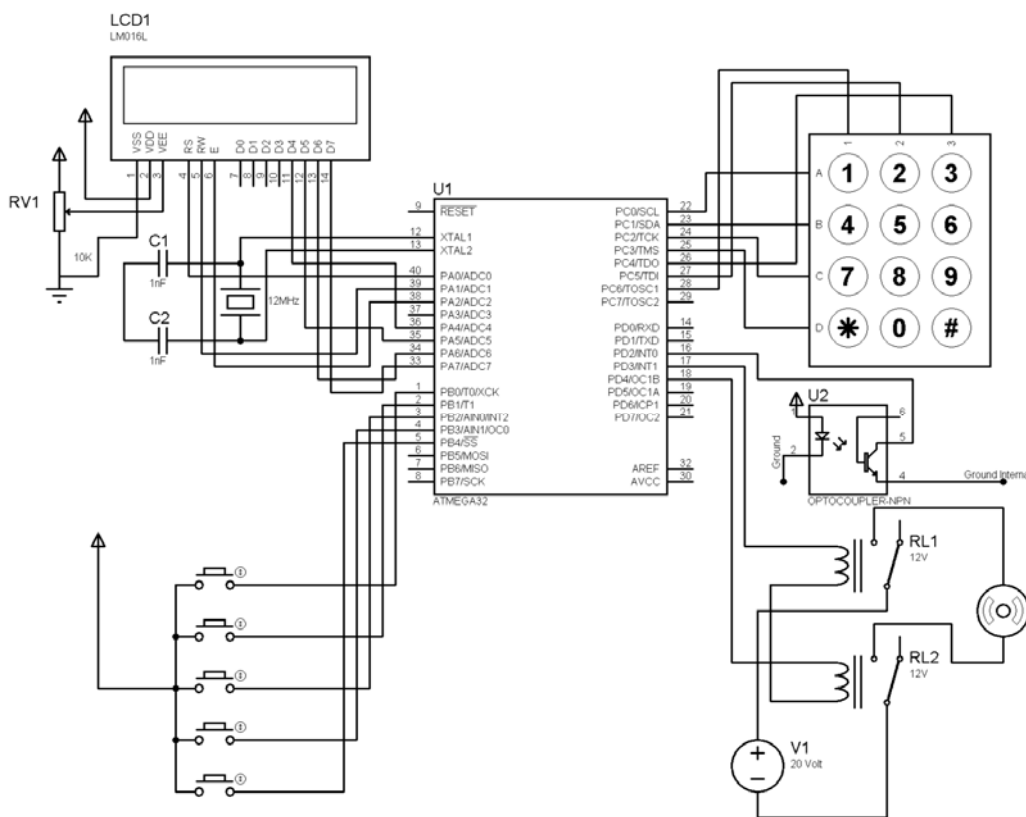
Metode Penelitian

Alat ini bekerja dengan sistem otomasi menggunakan mikrokontroler sebagai pengendalinya. Bagan pengendalian dapat dilihat pada blok diagram seperti pada gambar 1. Perancangan alat meliputi perancangan secara elektronis. Perancangan elektronis dilakukan dengan membuat rangkaian mikrokontroler, rangkaian DAC, rangkaian pengendali motor DC, rangkaian sensor, rangkaian ADC dan rangkaian penampil LCD. Desain alat yang dibuat seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Gambar proses pengendalian

Gambar desain alat ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Desain alat

Prinsip kerja dari rangkaian sensor dengan menggunakan *optocoupler* tersebut adalah apabila *phototransistor* terkena cahaya dari dioda *infrared*, maka arus V_{cc} mengalir dari sisi *collector* ke *emitter*. Sehingga pada output AVR mendeteksi adanya signal "0" yang berasal dari *internalground*. *Relay* yang digunakan di dalam rangkaian ini adalah *relay* dengan input tegangan untuk mengaktifkan *relay* sebesar 5 volt DC, dan output tegangan 24 volt DC. Tegangan yang digunakan sebagai suplai bagian input relai adalah tegangan dari hasil penyearahan 5 volt DC.

Sedangkan sebagai pengendali relai digunakan port PD.4 dan PD.5. Apabila port PD.4 ataupun PD.5 tersebut berada pada kondisi “0”, maka relai berada pada kondisi aktif, sedangkan apabila port tersebut berada pada kondisi “1”, maka relai berada pada kondisi off. Saat relai berada pada kondisi aktif/ on, kontak NC berubah menjadi NO, sehingga arus mengalir dari konektor CN1 ke konektor CN2. Perhitungan atau pengukuran yang dilakukan adalah pada linieritas kepekaan sensor dalam menghitung jumlah putaran, perbandingan antara jumlah putaran yang disetting dengan jumlah putaran hasil dan pengukuran pada setiap bagian komponen elektronik alat beserta penjelasan dari kode program yang telah dibuat.

Suatu peralatan berbasis otomasi menggunakan suatu sistem pengendalian. Saat ini sistem pengendalian dapat menggunakan beberapa komponen, diantaranya mikrokontroler, PLC (*Programmable Logic Controller*) ataupun PC (*Personal Computer*). Berikut ini disajikan perbandingan antara mikrokontroler dengan alat kendali berupa PLC ataupun PC yang disajikan dalam tabel 1 dengan kategori penilaian seperti ditunjukkan dalam tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan antara Mikrokontroler, PLC dan PC

No	Aspek Pemanding	Mikro	PLC	PC
1	Harga	5	3	2
2	Keragaman Aplikasi/ Fleksibilitas	5	3	5
3	Daya yang digunakan	5	3	3
4	Memori	3	4	5
5	Fasilitas yang disediakan	5	3	5
6	Kemudahan dalam penggunaan	4	5	3
Total Nilai		27	21	23

Tabel 2. Kategori Penilaian

Skor	Nilai	Kategori
0 – 20%	1	Sangat Kurang
21% - 40%	2	Kurang
41% - 60%	3	Cukup Baik
61% - 80%	4	Baik
81% - 100%	5	Sangat Baik

Dengan memperhatikan total penilaian pada tabel 2, dapat dihitung kategori perbandingan antara mikrokontroler dengan peralatan lainnya dengan perhitungan sebagai berikut :

$$TotalSkor = \frac{TotalNilai}{NilaiMaksimum} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$TotalSkor = \frac{27}{30} \times 100\%$$

$$TotalSkor = 90\%$$

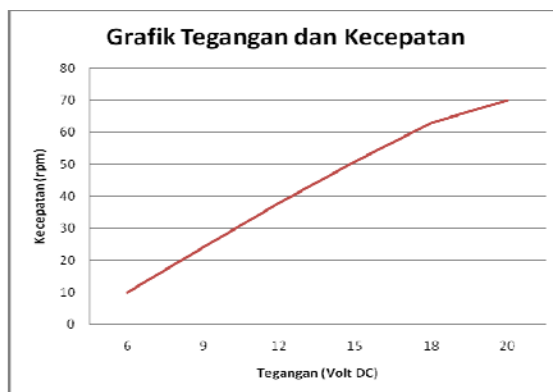
Dari perbandingan menggunakan beberapa aspek pada tabel 2. dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler memiliki keunggulan dalam penggunaan untuk berbagai macam aplikasi baik pengendalian peralatan berbasis analog maupun digital dengan kategori Sangat Baik.

Hasil dan Pembahasan

Analisis yang dilakukan adalah analisis kinerja alat berdasarkan rangkaian yang telah dibuat, bahan yang digunakan, analisis keberhasilan alat dalam melakukan proses pengaturan kecepatan dan menghitung jumlah putaran. Hasil dari penelitian ini diharapkan mendapatkan sebuah rancangan alat pengendali kecepatan dan penghitung jumlah putaran yang dapat di set jumlah putarannya secara otomatis, daya listrik

yang rendah dalam pengoperasian serta membangun sebuah sistem yang dapat menghasilkan keuntungan yang lebih baik.

Sistem kendali kecepatan putaran motor ini apabila diterapkan untuk mengatur putaran motor DC berdasarkan karakteristik motor DC menghasilkan grafik pada gambar 3. Tabel hubungan antara setting jumlah putaran dan jumlah putaran hasil di dalam proses menggulung bahan disajikan dalam Tabel 3.



Gambar 3. Grafik tegangan dan kecepatan

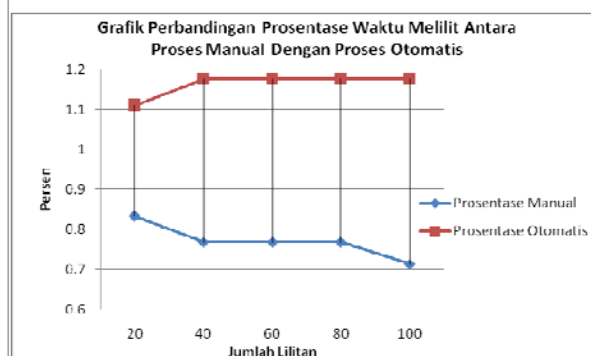
Tabel 3. Hubungan antara setting jumlah putaran dan jumlah putaran hasil.

NO	Setting Jumlah Putaran (angka)	Jumlah Putaran Hasil
1	0005	5
2	0010	10
3	0020	20
4	0030	30
5	0040	40
6	0050	50

Sistem ini apabila diterapkan pada suatu proses pembuat lilitan menghasilkan perbandingan antara proses manual dengan proses otomatis disajikan dalam grafik pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan waktu proses membuat lilitan.



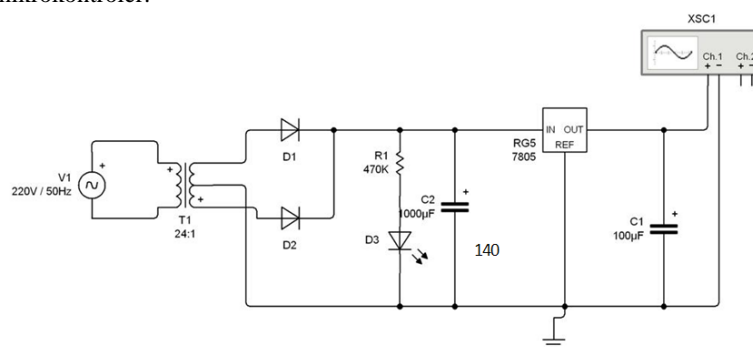
Gambar 5. Grafik Perbandingan presentase waktu membuat lilitan.

Apabila dihitung dengan menggunakan prosentase, waktu melilit dengan menggunakan proses manual mengalami penurunan dibanding dengan proses menggunakan mesin otomatis. Grafik tersebut disajikan dalam Gambar 5.

Dari grafik pada gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan pada motor, maka semakin tinggi pula kecepatan motornya. Hal ini dikarenakan gaya gerak listrik (GGL) yang ada di dalam motor listrik mengalami peningkatan sesuai dengan peningkatan suplai tegangan yang diberikan.

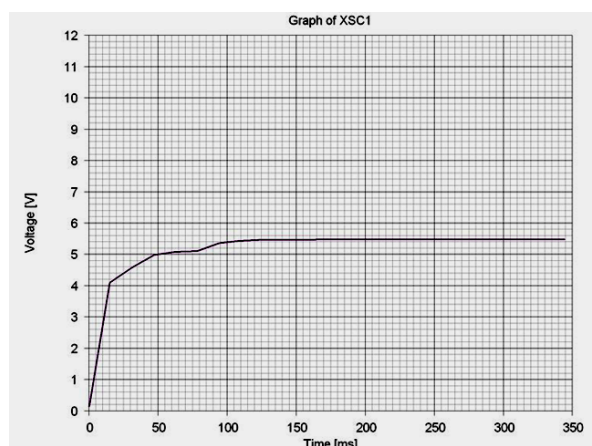
Berdasarkan Tabel 3, yaitu hubungan antara setting jumlah lilitan yang diberikan input melalui *keypad* dan data jumlah lilitan hasil menunjukkan kesamaan pada setiap *setting*-nya. Hal ini menunjukkan bahwa ketepatan didalam proses menghitung jumlah putaran adalah 100 % sehingga berapapun jumlah *setting* yang kita berikan melalui *keypad*, maka akan menunjukkan hasil yang sama pada jumlah putaran hasil. Digit yang diberikan pada mikrokontroler terdiri dari 4 digit mulai dari 0001-9999. Jadi jumlah maksimum putaran yang dapat di proses adalah 9.999 putaran. Apabila ingin menaikkan digit tersebut, maka kode program yang ada didalam *chip* mikrokontroler harus diubah menjadi lebih dari 4 digit.

Analisis secara elektronis dilakukan untuk mengukur besaran-besaran elektronis yang ditimbulkan dari pengoperasian peralatan. Pengukuran dilakukan per bagian alat yaitu pada bagian rangkaian *supply*, rangkaian sensor, rangkaian *relay* dan mikrokontroler serta pembahasan tentang penggunaan kode program didalam sistem mikrokontroler.



Gambar 5. Rangkaian Supply Mikrokontroler

Dari rangkaian tersebut dapat dilihat bahwa rangkaian yang digunakan di dalam penyearahan menggunakan rangkaian *full wave rectifier* dengan transformator jenis center tap (CT) sebagai *supply* tegangan AC-nya. Masing-masing diode yaitu D1 dan D2 membuat penyearahan masing-masing setengah gelombang yang kemudian masuk ke IC regulator LM7805 yang merelugasikan tegangan menjadi 5 volt.



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan waktu pengisian kapasitor pada rangkaian supply

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa sesaat setelah tegangan AC diberikan pada sistem penyearahan, terjadi proses pengisian pada kapasitor C1. Proses pengisian ini berlangsung dari 0 sampai sekitar 100 ms. Kemudian tegangan akan stabil setelah proses pengisian selesai, sehingga output yang diberikan pada IC regulator sebesar 5 volt.

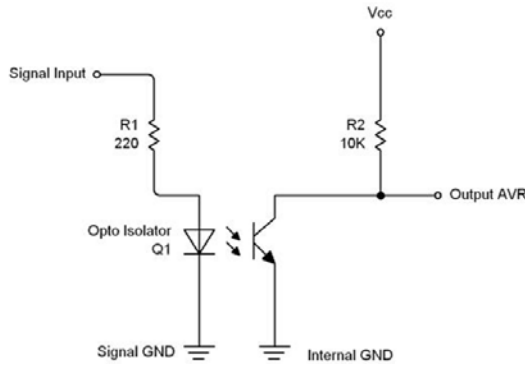
Rangkaian sensor yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7. Sensor yang digunakan di dalam sistem ini adalah *optocoupler* dimana memiliki dua bagian yaitu pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) sinyal. Pengirim yang digunakan adalah LED infra merah, sedangkan penerimanya berupa fotodioda yang terbentuk di dalam satu paket sensor. Untuk penghitungan jumlah putaran digunakan piringan yang dibuat seperti bentuk yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sehingga apabila sensor *optocoupler* diputus sebanyak 4 kali, maka akan terhitung 1 kali putaran. Hal ini berlaku untuk kelipatannya yaitu 8 untuk 2 putaran dan seterusnya, sehingga pada akhirnya tepat terhenti pada 4 kali jumlah setting lilitannya.

Dari rangkaian tersebut dapat dihitung apabila kecepatan motor yang diberikan untuk proses melilit sebesar 70 rpm, maka jumlah pemutusan pancaran cahaya dari LED infra merah ke photodiode sebesar 70×4 atau 280 pemutusan per menit. Apabila dihitung frekuensi pemutusan cahaya perdetiknya adalah

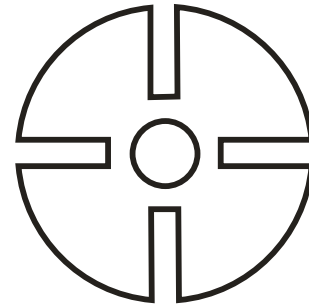
$$\frac{70 \times 4}{60} = 4,667 \text{ pemutusan}$$

sehingga satu kali pemutusan memakan waktu sebesar

$$\frac{1}{4,667} = 0,214 \text{ detik}$$

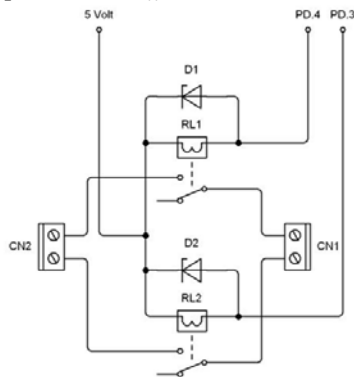


Gambar 7. Rangkaian sensor *optocoupler*



Gambar 8. Piringan untuk sensor

Rangkaian relay disajikan dalam Gambar 9. Dari rangkaian tersebut dapat dianalisa apabila PD.3 dan PD.4 memberikan sinyal "0", maka relay berada pada kondisi aktif sehingga arus sumber mengalir dari konektor CN1 ke konektor CN2, sedangkan apabila PD.3 dan PD.4 memberikan sinyal "1", maka relay berada pada kondisi *off* dan arus tidak mengalir ke motor.



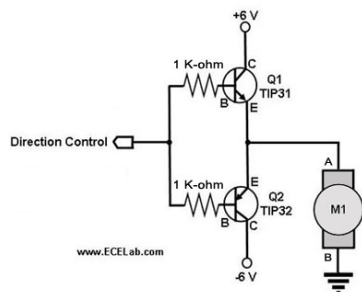
Gambar 9. Rangkaian *relay*

Tabel 4. Kondisi relay saat PD.3 dan PD.4 berlogika 0 atau 1

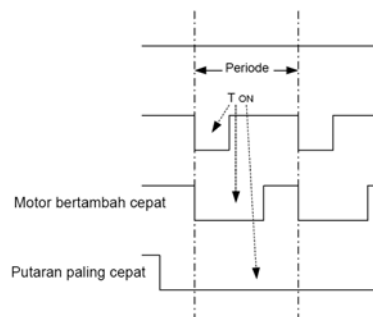
NO	KONDISI		
	PD.3 dan PD.4	CN1	CN2
1	0	ON	ON
2	1	OFF	OFF

Dari gambar rangkaian sistem minimum mikrokontroler yang ditunjukkan pada Gambar 2 diatas dapat dianalisa bahwa *Port B* digunakan sebagai input push button untuk *OK*, *RESET*, *DOWN*, *UP/PAUSE* dan *BACK*, sedangkan *port C* digunakan untuk penampil LCD, LCD yang digunakan di dalam rangkaian ini adalah LCD 16×2 . *Port D* digunakan sebagai pengendali ON dan OFF motor menggunakan *relay*. *Port PD3* (INT1) digunakan sebagai pengendali ON dan OFF *relay*. Apabila PD3 berada pada logika 1 maka *relay* ON, begitu pula sebaliknya. Motor yang digunakan di dalam proses adalah motor DC 24 volt yang dilengkapi dengan *reducer* berupa *gear*, sehingga disaat motor diputus suplai tegangannya, maka seketika itu pula motor berhenti pada titik tersebut sehingga motor tidak berputar melebihi saat tersebut.

Driver motor digunakan untuk memutar motor berdasarkan perintah yang diberikan oleh mikrokontroler. *Driver* motor yang digunakan menggunakan tegangan DC sebagai sumbernya. Contoh sebuah *driver* motor DC seperti dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Gambar Driver Motor DC
(Sumber : <http://www.ecelab.com/circuit-motor-control-1.htm> (19 September 2012))



Gambar 11. Gambar pengendalian menggunakan sinyal PWM

Jenis gelombang yang dihasilkan dari pengendalian motor menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), seperti yang tertera dalam Gambar 11.

Proses pengaturan kecepatan putar dan penghitungan putaran mesin ini dapat diterapkan pada peralatan pengaduk/ mixing sebagai contoh pada alat pengaduk bumbu, alat pencampur suatu larutan, *vaccum frying* untuk pembuatan keripik buah, penggulung lilitan motor listrik, pemintalan benang dan peralatan-peralatan lain yang membutuhkan ketepatan kecepatan putar dan jumlah putaran mesin. Peralatan-peralatan tersebut dalam industri kecil dan menengah masih banyak menggunakan proses manual ataupun menggunakan mesin tanpa adanya sistem pengaturan/ *controlling*.

Penerapan alat ini untuk proses pengadukan/ mixing dapat dilakukan dengan berbagai macam variasi kecepatan. Kecepatan pengaduk yang umumnya digunakan pada operasi industri kimia adalah yaitu Kecepatan tinggi, berkisar pada kecepatan 1750 rpm. Pengaduk dengan kecepatan ini umumnya digunakan untuk fluida dengan viskositas rendah misalnya air. Kecepatan sedang, berkisar pada kecepatan 1150 rpm. Pengaduk dengan kecepatan ini umumnya digunakan untuk larutan sirup kental dan minyak pernis. Kecepatan rendah, berkisar pada kecepatan 400 rpm. Pengaduk dengan kecepatan ini umumnya digunakan untuk minyak kental, lumpur di mana terdapat serat atau pada cairan yang dapat menimbulkan busa. (Modul tangki Pengaduk, Dept. Teknik Kimia ITB)

Kesimpulan

Telah dirancang sebuah alat kendali kecepatan dan *counter* putaran dengan sistem otomatis yaitu menggunakan *chip* mikrokontroler ATmega32 yang disusun dengan menggunakan sensor *optocoupler* sebagai pendeteksi putarannya, serta *keypad* sebagian inputannya dan LCD sebagai penampil hasilnya yaitu berupa putaran yang turun/ berkurang dari *setting* yang diberikan sampai dengan menunjukkan angka 0. Digit yang diberikan sebagai inputan adalah dari 0001 – 9999. Dari tabel hasil penghitungan jumlah putaran, dapat dilihat untuk setiap *setting*nya memiliki jumlah putaran hasil yang sama dengan *setting* yang diberikan. Kecepatan motor dikendalikan dengan menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* sebagai input bagi semikonduktor daya (Transistor/ SCR atau MOSFET) yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor.

Daftar Pustaka

- Anonim, (2008), *Mesin Listrik*, Malang : PPPPTK VEDC
- Anonim, (Tanpa Tahun), *Motor Listrik*, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org
- Anonim, (Tanpa Tahun), *Dasar Motor Stepper*, <http://www.himaone.net/> (diakses 19 September 2012)
- Budisantoso, N, (2009), Alat Penggulung lilitan trafo. <http://library.um.ac.id/free-contents/index.php/pub/detail/alat-penggulung-lilitan-trafo-novi-budisantoso-38042.html>. (8 Mei 2013)
- Condit, R. and Jones, D.W. (2004). *Stepping Motors Fundamentals (Microchip AN907)*. U.S.A: Microchip Technology Inc. DS00907A.
- Dept. Teknik Kimia ITB, (2012), *Modul Tangki Pengaduk*, <http://akademik.che.itb.ac.id/labtek/wp-content/uploads/2012/05/tdk-tangki-berpengaduk.pdf> (diakses tanggal 10 November 2013)
- Fadali, M.S. (2009). *Digital Control Engineering*. Burlington : Elsevier
- Halliday, Resnick and Walker. (2010). *Fundamental of Physics 8th Edition*. E-Book
- Ibrahim, D. (2006). *Microcontroller Based Applied Digital Control*. New Delhi, India : John Wiley & Sons.
- Moudgalya, K.M. (2007). *Digital Control*. England : John Wiley & Sons
- Pambudi, N.A. (2008). *Sistem Otomasi*. www.ilmukomputer.org.
- Petruzela, F.D. (2007). *Elektronik Industri*. Yogyakarta : ANDI
- Putra, A.E. (2005). *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55: Teori & Aplikasi (edisi 2)*. Yogyakarta : Gava Media.