

RANCANG BANGUN PENGATUR GERAK MOTOR STEPPER UNTUK PERALATAN BRAKITERAPI

Ahmad Rifai¹, Usep Setia Gunawan¹ dan Indarzah Masbatin Putra¹
¹ PRPN-BATAN, Komplek Puspipstek Gd.71 Serpong, Tangerang

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PENGATUR GERAK STEPPER MOTOR UNTUK PERALATAN BRAKITERAPI. Telah dilakukan perancangan sistem pengatur gerak stepper motor untuk brakiterapi dengan menggunakan mikrokontroler. Kode program subrutin pengaturan gerak dan subrutin yang berkaitan ditanamkan agar mikrokontroler dapat membangkitkan pulsa yang diperlukan untuk melakukan kontrol posisi berbasis stepper motor dengan perintah eksternal. Perintah pengaturan berupa teks ASCII diberikan melalui saluran komunikasi serial. Algoritma umum dipakai dalam pengaturan gerak motor, yaitu terdiri dari 3 fase: gerak dengan percepatan, kecepatan konstan, dan perlambatan.

Kata kunci: stepper motor, kecepatan gerak, braki-terapi, mikrokontroler

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF STEPPER MOTOR CONTROLLER FOR BRACHY-THERAPY EQUIPMENT. Based on a microcontroller, a stepper motor controller for brachy-therapy equipment has been designed and prototyped. The embedded control program routine and its other associated routines enable the microcontroller to generate required pulses via external commands for stepper motor based position control. The controller receives ASCII text command via a serial port. The constructed algorithm implements the widely used method that allows motor to rotate in three phases, i.e: acceleration, constant speed, and deceleration.

Keywords: motor stepper, speed, control, brachy-therapy, microcontroller

1. PENDAHULUAN

Dalam perangkat brakiterapi yang didesain oleh tim braki PRPN-BATAN, salah satu komponen pendukungnya adalah motor penggerak yang dapat dikendalikan gerak dan kecepatannya sesuai dengan program yang diberikan. Gerakan yang terprogram ini diperlukan pada saat penyinaran radiasi target berupa jaringan sel kanker yang lokasinya cukup menyebar tapi saling berdekatan. Berdasarkan ini, maka diperlukan berbagai macam gerakan. Salah satunya adalah gerak yang menempuh jarak cukup jauh (sekitar 1 - 2 m) berkecepatan tinggi dengan tujuan untuk menghindari jaringan yang sehat pada pasien terkena paparan

radiasi yang tidak diperlukan. Gerak ini terjadi pada waktu sumber radiasi dikeluarkan dari tempat penyimpanan menuju sekitar target penyinaran. Penyinaran dilakukan untuk beberapa saat pada lokasi di mana terdapat jaringan kanker dan kemudian pindah dan diam ke lokasi lain dekat sekitarnya sebelum dikembalikan dengan gerakan tercepat ke tempat penyimpanan sumber semula.

Dalam makalah ini akan dibahas kegiatan rancang bangun pembuatan sistem pengaturan menggunakan mikrokontroler yang difungsikan untuk menerima rangkaian perintah untuk pengaturan gerak motor stepper. Perintah berupa teks kode ASCII dikirim ke sistem pengendali ini melalui saluran data serial

yang terdapat pada mikrokontroler. Dengan cara demikian berdasarkan perintah tersebut akan dicapai gerak yang diinginkan untuk sumber radiasi di perangkat braki-terapi. Gerakan motor diaktifkan dengan pulsa tegangan listrik. Mikrokontroler akan menghasilkan sejumlah pulsa tertentu dan dengan kerapatan pulsa tertentu pula. Kerapatan pulsa ini sebanding dengan kecepatan gerakan motor atau gerakan sumber radiasi, sedangkan jumlah pulsa yang dihasilkan merupakan jarak yang ditempuh oleh sumber radiasi tersebut. Jika pulsa tidak dikeluarkan berarti tidak terjadi gerakan atau sumber akan diam pada posisinya. Dengan demikian variasi putaran motor akan ditentukan dari jumlah dan kerapatan pulsa yang dikeluarkan dari mikrokontroler atas perintah yang telah diberikan melalui saluran komunikasi serial.

2. TEORI

Untuk menghasilkan pulsa dengan jumlah dan kecepatan tertentu dilakukan dengan cara pengaturan waktu secara perangkat lunak, yaitu dengan cara memprogram mikrokontroler melakukan untaian pengulangan (*looping*) yang selanjutnya akan disebut untaian. Dalam kondisi untaian ini dilakukan pencacahan pulsa dengan menggunakan register 16 bit. Jika register ini telah mencapai nilai yang diinginkan (berarti jarak tempuh telah tercapai), maka untaian akan segera dihentikan. Dalam untaian tersebut terbentuk pulsa variasi kerapatan pulsa persatuan waktu yang menyebabkan variasi kecepatan gerak putar motor stepper. Umumnya, motor dijalankan dengan kecepatan awal minimum dan kemudian kecepatannya ditingkatkan sampai mencapai kecepatan maksimum. Selanjutnya motor berputar dengan kecepatan konstan dan jika telah mendekati akhir gerakan, kecepatan motor akan diturunkan sampai kembali mencapai tingkat minimum untuk memberhentikan gerakan.

Kecepatan putar motor dapat dirumuskan:

$$V = \frac{k}{\Delta T} \quad (1)$$

Di mana:

V adalah kecepatan motor

T adalah waktu yang diperlukan pada setiap pengulangan (*loop*)

k adalah pulsa yang dihasilkan tiap iterasi dalam untaian

Sedangkan jarak yang ditempuh sumber radiasi dapat dinyatakan sebagai

$$S = C_s N k \quad (2)$$

Di mana:

C_s merupakan konstanta kalibrasi

N adalah jumlah iterasi dalam untaian

k adalah jumlah pulsa dihasilkan tiap untaian

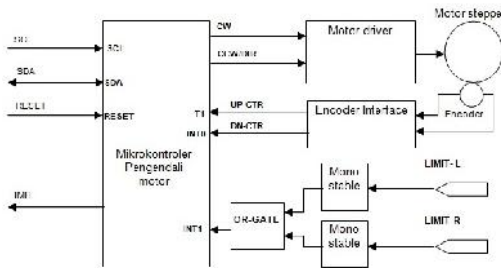
Karena tidak praktis mengubah jumlah pulsa yang dihasilkan pada tiap untaian, perubahan kecepatan gerak motor dilakukan dengan menyisipkan periode tunda pada program untaian tersebut. Dengan demikian percepatan atau perlambatan gerak rotasi motor dapat dikendalikan dengan pengaturan periode tunda ini.

3. TATAKERJA DAN METODE RANCANGAN

Desain mikrokontroler untuk pengaturan kecepatan motor beserta komponen yang terkait dapat dilihat pada gambar 1. Mikrokontroler menghasilkan pulsa keluaran CW yang diberikan kepada penggerak motor (*motor drive*). Kerapatan pulsa ini per satuan waktu menentukan kecepatan gerak motor sedangkan banyaknya pulsa yang dihasilkan menentukan jarak gerak yang ditempuh. Sinyal keluaran CCW/DIR dipakai untuk menentukan arah gerakan motor. Untuk memperoleh data posisi yang akurat dari gerakan, motor dilengkapi dengan enkoder. Panjang gerak aktual motor tersebut diperoleh dari rangkaian enkoder ini yang memberikan sinyal UP-CTR dan DN-CTR. Sinyal ini diterima oleh mikrokontroler masing-masing melalui jalur pencacah T1¹ dan interup INTO¹. Pada saat motor bergerak maju, pulsa akan dihasilkan pada UP-CTR, sedangkan

pada gerak mundur pulsa dikeluarkan melalui DN-CTR Setiap pulsa pada T1 akan menambah nilai cacah pada suatu register yang menyimpan besaran posisi. Sedangkan interupsi pada INT0 akan mengurangi nilai cacah tersebut. Dengan demikian register ini akan menyimpan besaran posisi aktual gerakan yang terjadi dari motor.

Perintah pengaturan gerakan motor diberikan melalui saluran komunikasi serial I2C pada sinyal SCL dan SDA. Mikrokontroler ini difungsikan sebagai *slave* I2C sehingga akan menunggu perintah dari master I2C. Setiap karakter yang masuk ke saluran I2C akan memberikan interupsi. Adalah tugas *slave* ini menterjemahkan rangkaian karakter yang diterima untuk selanjutnya diproses sebagai perintah atau bukan. Untuk keamanan sistem, gerakan sumber radiasi dibatasi agar tidak melewati batas terjauh dan batas terdekat. Gerakan yang akan melewati kedua batas ini dideteksi melalui saklar proksimiti LIMIT-L dan LIMIT-R yang berupa rangkaian saklar opto-kopler. Jika sumber melewati salah satu batas ini, maka akan terjadi pulsa dari rangkaian mono-stabil yang membangkitkan interupsi melalui INT1¹.



Gambar 1: Diagram blok pengatur gerak motor stepper

Interupsi ini akan menghentikan gerakan motor dan akan mengubah status LIMIT yang mengindikasikan bahwa batas gerakan sudah dilampaui. Jika terjadi kondisi darurat, maka sinyal RESET dapat diberikan yang akan menarik kembali sumber radiasi dengan kecepatan maksimum menuju ke tempat penyimpanan.

Untuk memenuhi proses yang digambarkan di atas, maka kode program perlu ditanamkan pada mikrokontroler. Kode program ini secara garis besar terdiri dari beberapa rutin sebagai berikut:

1. Program utama
2. Layanan interupsi komunikasi serial
3. Layanan interupsi untuk enkoder
4. Layanan interupsi untuk batas gerakan
5. Pembangkit pulsa penggerak motor

Subrutin program utama melakukan konfigurasi sumberdaya mikrokontroler agar berfungsi seperti apa yang telah direncanakan seperti pada gambar 1. Setelah melakukan proses inialisasi dan konfigurasi, maka subrutin ini akan masuk keadaan berupa untai tanpa batas yang tugasnya memeriksa apakah ada perintah yang datang, mevalidasinya dan kemudian melaksanakannya, jika perintah tersebut valid. Daftar perintah yang diperbolehkan tertanam dalam memori mikrokontroler

Subrutine layanan interupsi serial dipergunakan untuk menerima karakter melalui saluran serial I2C, memilah rangkaian karakter yang masuk apakah memiliki format perintah yang valid. Format perintah memiliki bentuk '%CCCCCC [PPPP]<CR>', yang artinya perintah diawali dengan karakter % kemudian diikuti nama perintah dan parameternya jika ada. Perintah harus diakhiri dengan <CR> (kode ASCII 0D hexadesimal). Program utama akan memeriksa apakah telah tersedia karakter <CR> yang menandakan perintah telah datang dengan format yang benar.

Subrutin layanan interupsi enkoder dilaksanakan jika terjadi pulsa pada jalur INT0. Data posisi sumber radiasi disimpan dalam register pencacah T1. Setiap terjadi pulsa pada T1 akan menambahkan satu pada isi register pencacah tersebut secara *hardware*. Tetapi setiap terjadi pulsa pada INT0 akan mengurangi isi register T1 melalui kode program. Ini akan mengakibatkan waktu yang dipakai untuk mengurangi isi register tersebut jadi lebih lama. Jika kerapatan pulsa dari enkoder

tidak begitu tinggi, maka cara ini masih bisa dipertahankan.

Subrutin layanan interupsi untuk batas pergerakan sumber radiasi akan dilaksanakan jika terjadi pulsa dari salah satu sensor batas.

Subrutin pembangkitan pulsa penggerak motor dibuat dengan menggunakan untai dimana banyaknya pulsa yang akan dibangkitkan menjadi parameter. Pada setiap untai hanya dihasilkan satu pulsa ($k=1$ pada persamaan 1). Profil kecepatan motor dibuat seperti trapesium. Dari kondisi diam, bergerak dan kemudian berhenti, gerakan motor dibagi kedalam 3 fase, yaitu fase pecepatan, fase kecepatan konstan dan fase perlambatan. Fase percepatan dan perlambatan dibuat 10 persen dari jarak keseluruhan yang ditempuh. Angka 10 persen ini dipilih sembarangan, tetapi profil gerak yang diperlukan adalah bahwa diperlukan waktu sesingkat mungkin pada fase pecepatan dan perlambatan tersebut. Optimalisasi fase tersebut akan dilakukan *trial-error* pada saat motor terpasang dan menerima beban yang ril yang angkanya belum dapat disajikan. Untuk menjalankan subrutin ini perintah yang harus diberikan pada sistem ini adalah '%RUN 1000 8000 1000'. Yang artinya lakukan gerak percepatan sebanyak 1000 step, kemudian kecepatan konstan 8000 step dan kemudian gerak perlambatan sebanyak 1000 step. Subrutin yang ditanamkan pada mikrokontrol ini memiliki bentuk sebagai berikut

```

//*****
//Subrutin pembangkitan pulsa untuk menggerakkan stepper motor
// Parameter:
// Accelerate = Jumlah step gerkan fase percepatan
// ConstantSpeed = Jumlah pulsa fase kecepatan konstan
// Decelerate = Jumlah pulsa pada fase perlambatan
// Catatan:
// DELAYMAX dan ChangeSpeed ditentukan pada saat
// beban motor terpasang dengan cara trial-error
//*****

#define DELAYMAX 400
#define ChangeSpeed 60

void runTrapesium(int Accelerate, int ConstantSpeed, int Decelerate)
{
  Int x, dt;
  Int DeltaT;

  //Fase gerak dengan percepatan
  DeltaT = DELAYMAX
  for(x=0;x< Accelerate || DeltaT>ChangeSpeed;x++) {
    PORTC=0x01;
    _delay_us (60);
    PORTC=0x00;
    _delay_us(DeltaT);
    DeltaT =DeltaT - ChangeSpeed;
  }
  //Bergerak dengan kecepatan konstan
  for(x=0;x<ConstantSpeed;x++) {
    PORTC=0x01;
    _delay_us (60)
    PORTC=0x00;
    _delay_us(DeltaT);
  }
  //Bergerak dengan perlambatan
  for(x=0;x<ConstantSpeed || DeltaT<ChangeSpeed;x++) {
    PORTC=0x01;
    _delay_us (60)
    PORTC=0x00;
    _delay_us(DeltaT);
    DeltaT =DeltaT + ChangeSpeed;
  }
}

```

Gambar 2: Kode program pembangkit pulsa penggerak motor

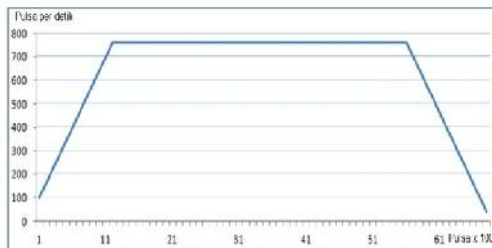
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kegiatan ini motor stepper yang digunakan memiliki 500 pulsa per rotasi dan memiliki gear ratio 1:10. Dalam percobaan ini motor belum mendapat beban luar. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATMEL AVR ATmega8¹ dengan menggunakan osilator internal 1MHz.

Untuk digunakan pada sistem brakiterapi, target yang akan dicapai adalah minimal 2 putaran per detik, yang artinya motor stepper akan menerima pulsa sebanyak 2x500 pulsa atau 1000 pulsa tiap detik.

Hasil yang diperoleh pada kegiatan ini adalah, bahwa kita dapat mengatur gerak motor stepper dengan profil kecepatan berbentuk trapesium seperti pada gambar 3. Dalam grafik tersebut motor mengalami

percepatan, kemudian bergerak dengan kecepatan konstan dan akhirnya mengalami perlambatan sebelum berhenti. Tetapi kecepatan maksimum yang diperoleh hanya mencapai 1,5 putaran per detik. Dengan kata lain sistem ini baru bisa memberikan 750 pulsa per detik, jadi masih belum seperti yang diharapkan. Pada beberapa kali percobaan kami mendapatkan jika percepatan dinaikkan, terjadi bahwa motor berhenti bergerak. Secara kualitatif dapat dijelaskan bahwa untuk menaikkan kecepatan motor secara linier tidak dapat dilakukan dengan percepatan konstan. Ini terbukti pada saat variabel ChangeSpeed nya diperbesar, ternyata menyebabkan motor bergerak lebih cepat tetapi berhenti secara mendadak dan hanya bergetar. Ini dapat disebabkan inersia motor cukup besar sehingga perubahan kecepatan pulsa penggerak tidak dapat diikuti oleh percepatan sistem mekanik.



Gambar 3: Grafik kecepatan gerak motor stepper

5. KESIMPULAN

Hasil kegiatan rancang bangun dan implementasi sistem mikrokontroler untuk pengaturan gerak motor stepper dapat disimpulkan bahwa kode program yang ditanamkan dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. Perintah dapat diterima dan dijalankan dengan benar. Pengaturan kecepatan motor mengikuti pola sesuai keinginan. Hanya dengan frekuensi internal 1 MHz diperoleh kecepatan putar maksimum sebesar 1,5 putaran per detik. Ini berarti terdapat kemungkinan untuk meningkatkan kecepatan gerak motor dengan cara mengubah frekuensi mikrokontroler. Memberikan percepatan konstan tidak selalu dapat diikuti oleh motor stepper yang digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ATMEL CORP, "ATMega8" (Doc2486), ATMEL CORP., San Jose, USA (2011).