

## BAB III

### RANCANGAN KENDALI SRM DENGAN METODE INJEKSI PULSA MENGGUNAKAN *ROTARY ENCODER*

#### 3.1 Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah perancangan kendali SRM dengan metode injeksi pulsa menggunakan *rotary encoder* sebagai informasi posisi rotor yang meliputi konstruksi motor, rancangan kendali, blok kendali dsPIC 33EP512MU810 yang berisikan tahapan penelitian, dan rancangan rangkaian seperti konverter, *current sensor* LEM HX-10P, dan *rotary encoder*.

#### 3.2 Konstruksi Motor *Switched Reluctance*

SRM yang digunakan dalam Tugas Akhir ini memiliki konstruksi delapan kutub stator dan enam kutub rotor, pada umumnya disebut SRM 4 fasa. Pada awalnya motor ini terpasang empat sensor *hall effect* yang diletakan dengan interval 90 derajat antar setiap sensor pada *body* motor. Dikarenakan penggunaan sensor *hall effect* kurang akurat dan presisi maka sensor ini tidak digunakan dan diantisipasi menggunakan *rotary encoder*. Motor ini memiliki banyak kelebihan dikarenakan konstruksi rotor berupa inti besi serta tidak memakai magnet permanen dan sikat sehingga dalam perawatannya mudah dan memiliki umur kerja yang panjang. Kontruksi rotor dan stator SRM digunakan dalam penelitian dijelaskan pada sub-bab berikut ini.

### 3.2.1 Konstruksi Rotor SRM

Konstruksi SRM memiliki beberapa bagian utama, salah satunya rotor. Rotor merupakan bagian yang berputar pada SRM yang terbuat dari inti besi dengan bagian yang menonjol. Rotor SRM dibuat menonjol difungsikan untuk meminimalkan celah udara agar tidak ada celah udara pada motor yang mengakibatkan reluktansi maksimum. Rotor yang digunakan memiliki enam buah kutub dengan jarak 60 derajat antar kutub lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.1.

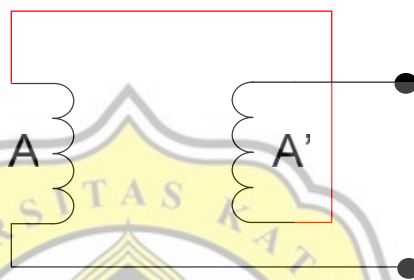


Gambar-3.1 Konstruksi rotor SRM

### 3.2.2 Konstruksi Stator SRM

Stator merupakan bagian motor yang tidak bergerak pada SRM yang berupa belitan. Konstruksi stator pada Tugas Akhir ini memiliki delapan buah kutub dengan jarak *interval* 45 derajat antar kutubnya. Stator memiliki fungsi untuk menghasilkan medan magnet dengan dialiri arus sehingga menarik bagian rotor

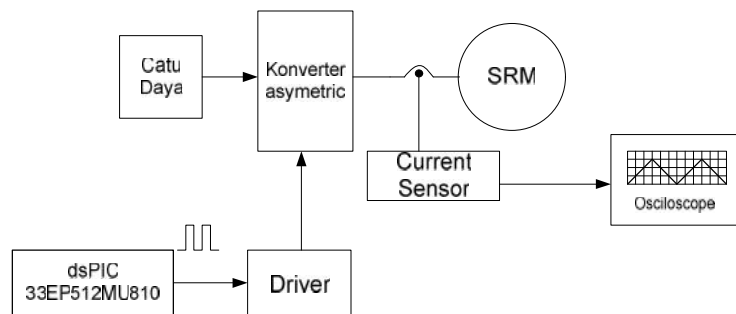
didekatnya. Jumlah kutub rotor dan stator tidak boleh sama jumlahnya karena akan mengakibatkan motor tidak dapat berputar karena terjadi posisi statis. Setiap belitan pada stator disambung secara seri agar mendapatkan kutub magnet yang saling berlawanan sehingga mempermudah menarik rotor seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.2.



Gambar-3.2 Sambungan belitan pada stator

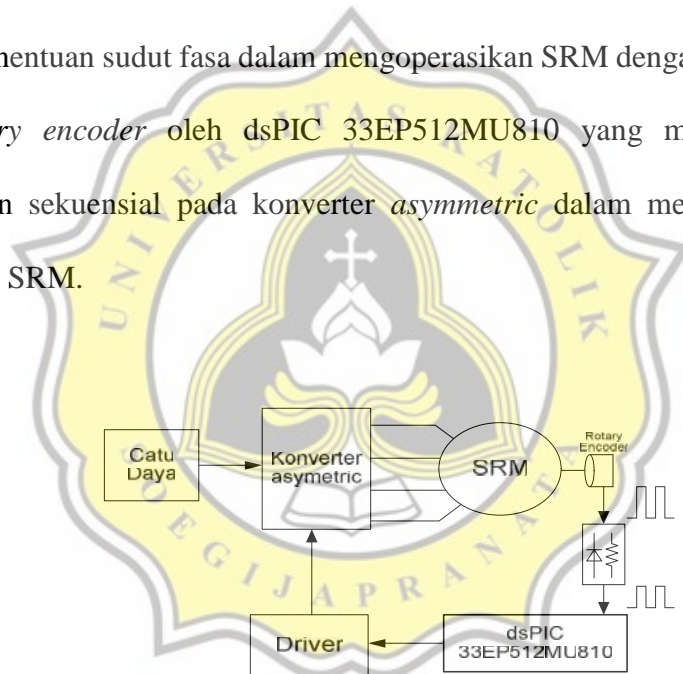
### 3.3 Rancangan Kendali

Perancangan kendali SRM menggunakan *rotary encoder* terdiri dari dua tahap, yaitu proses injeksi pulsa dan sinkronisasi posisi rotor terhadap pulsa *rotary encoder* yang ditunjukkan pada blok diagram di bawah ini.



Gambar-3.3 Blok diagram proses injeksi pulsa

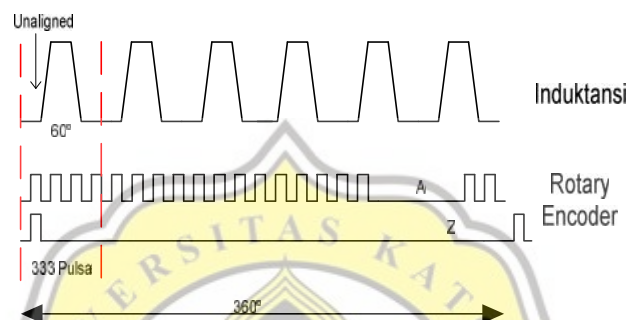
Tahapan awal dalam rancangan kendali SRM merupakan proses injeksi pulsa seperti yang ditunjukkan diagram blok pada Gambar-3.1. Proses injeksi pulsa beroperasi dengan memberikan pulsa frekuensi tinggi pada belitan stator melalui konverter *asymmetric* sehingga menghasilkan impuls arus yang dikomparasi dengan profil induktansi pada SRM sebagai penentuan posisi rotor. Setelah posisi rotor diketahui, masuk ke tahap kedua yaitu sinkronisasi posisi rotor terhadap pulsa *rotary encoder* yang ditunjukkan pada Gambar-3.2. Proses sinkronisasi digunakan sebagai penentuan sudut fasa dalam mengoperasikan SRM dengan mengolah pulsa pada *rotary encoder* oleh dsPIC 33EP512MU810 yang menghasilkan pola pensaklaran sekuensial pada konverter *asymmetric* dalam memberikan eksitasi stator pada SRM.



**Gambar-3.4 Blok diagram sinkronisasi posisi rotor terhadap pulsa *rotary encoder***

Sinkronisasi dilakukan dalam mendeteksi posisi rotor SRM menggunakan *rotary encoder* dengan membandingkan antara profil induktansi dan pulsa *rotary encoder*. Tahapan awal dalam mendapatkan informasi posisi rotor yang tepat dilakukan dengan pemetaan profil induktansi pada salah satu fasa mengacu pulsa *rotary encoder*. Sinkronisasi menggunakan dua sinyal keluaran pada *rotary encoder*, pulsa Pin-A menghasilkan 2000 pulsa dan pulsa Pin-Z menghasilkan

sebuah pulsa setiap satu putaran. SRM yang digunakan memiliki enam rotor, sehingga dalam satu putaran menghasilkan enam nilai induktansi maksimum. Setiap nilai induktansi maksimum terpisah pada 60 derajat elektrik atau 333 pulsa *rotary encoder* (2000/jumlah kutub rotor) seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.1.



**Gambar-3.5 Pemetaan induktansi terhadap pulsa *rotary encoder***

Informasi posisi rotor yang diketahui digunakan sebagai penentuan sudut fasa dalam eksitasi stator. Penentuan sudut fasa yang tepat berada ketika rotor mendekati stator dan induktansi mulai meningkat, karena pada posisi tersebut SRM menghasilkan torka positif yang lebih besar daripada torka negatif. Dalam menentukan sudut fasa dan interval sudut dapat menggunakan persamaan (3-1).

$$\theta = \frac{360}{(N_{pole} \times N_{phase})} \quad (3-1)$$

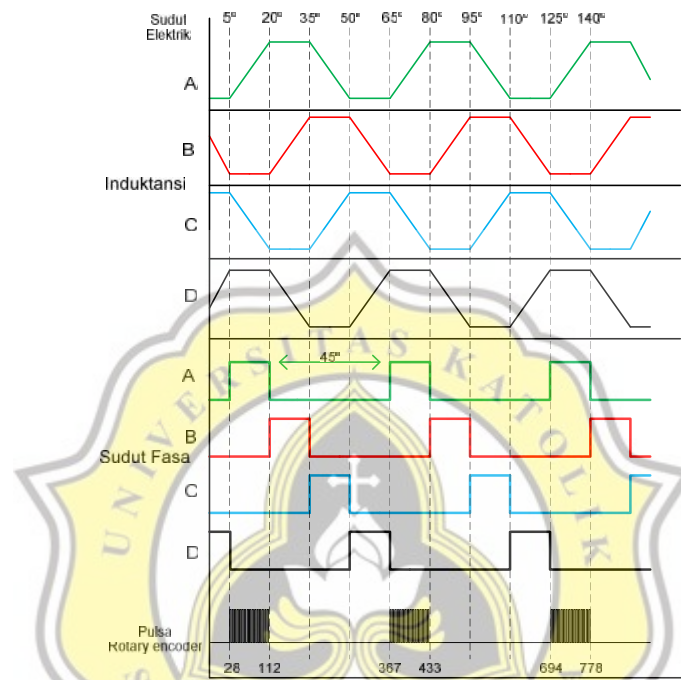
keterangan:

$\theta$  = Interval sudut

$N_{pole}$  = Jumlah kutub rotor

$N_{phase}$  = Jumlah fasa

Dari persamaan tersebut dapat diketahui interval sudut setiap fasa dengan konstruksi motor SRM empat fasa (8/6), sehingga didapatkan interval sudut antar fasa sebesar 15° seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.2.



Gambar-3.6 Penentuan sudut fasa terhadap profil induktansi

Untuk mengkonversi nilai sudut menjadi pulsa yang akan digunakan dalam penentuan sudut fasa dapat menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada persamaan (3-2).

$$N = \frac{T_{pulsa} \times \theta_{on}}{360} \quad (3-2)$$

keterangan:

N = Nilai Pulsa

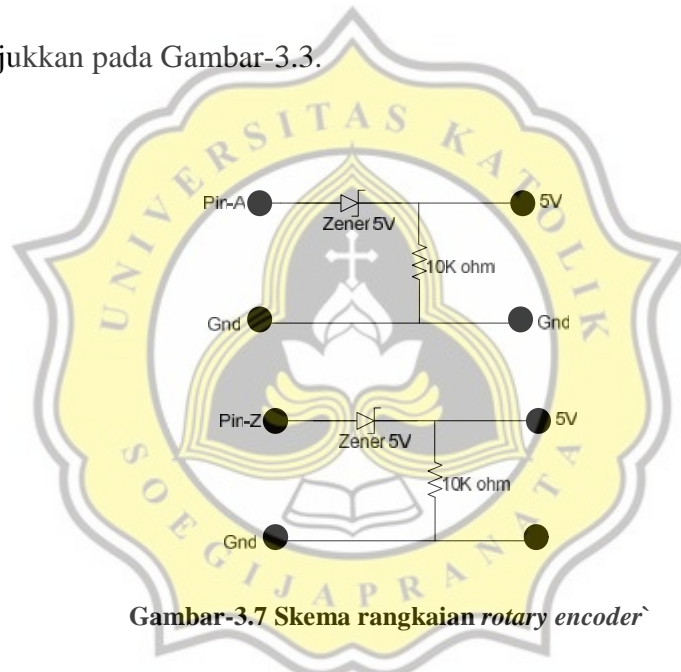
T<sub>pulsa</sub> = Total Pulsa dalam satu putaran

θ<sub>on</sub> = Sudut Penyalaan Fasa.



### 3.4 Rangkaian *Rotary Encoder*

*Rotary Encoder* digunakan sebagai deteksi posisi rotor SRM dengan mensinkronkan posisi rotor terhadap pulsa *rotary encoder*. *Rotary encoder* yang digunakan berjenis E50S8-2000-T-3-24 yang mempunyai tiga pin keluaran dan membutuhkan tegangan kerja 12 – 24 V. Keluaran *Rotary encoder* berupa serial pulsa dengan amplitudo 12V sehingga tidak dapat diolah langsung oleh DSC dan membutuhkan rangkaian pembatas tegangan berupa dioda zener dan resistor seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.3.

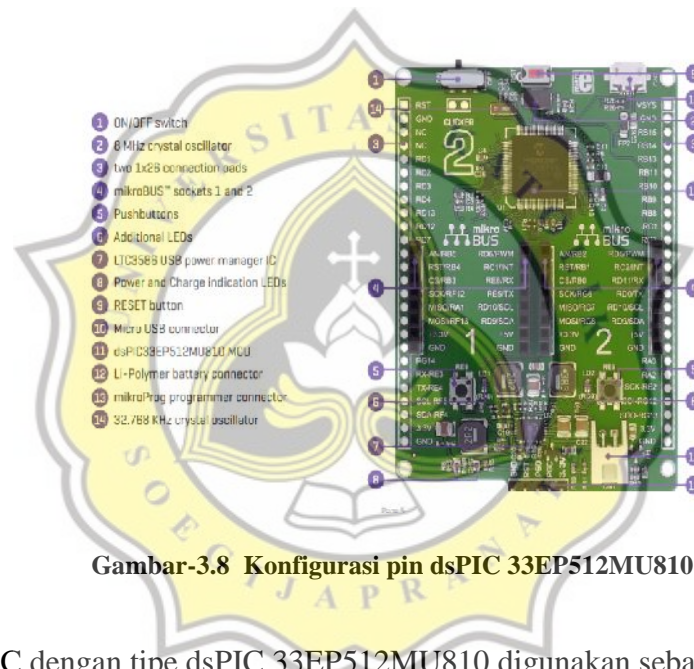


Gambar-3.7 Skema rangkaian *rotary encoder*

Dari rangkaian di atas, terdapat dua pin *rotary encoder* yang akan digunakan yaitu pin A dan pin Z untuk diolah oleh DSC. Didalam rangkaian tersebut juga terdapat dioda zener 5V dan resistor 10K ohm digunakan sebagai pembatas tegangan dan penghambat arus agar arus yang masuk menuju DSC tidak begitu besar.

### 3.5 Blok Kendali dsPIC 33EP512MU810

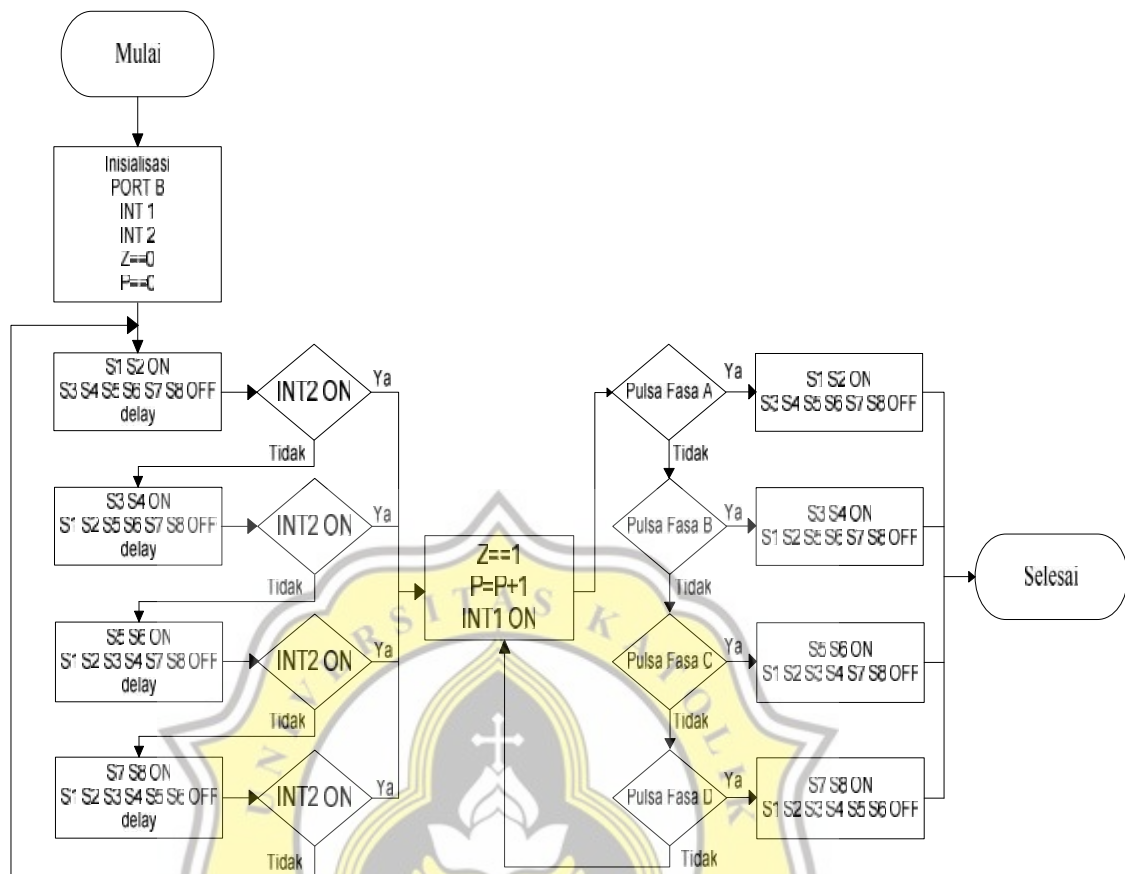
Keseluruhan perancangan penelitian ini menggunakan kendali berbasis digital dengan DSC tipe dsPIC 33EP512MU810. DSC ini terpasang pada board *system minimum* (sysmin) yang terdiri dari *crystal oscillator* 8Mhz dan 32.768 Khz, tombol *reset*, LED indikator, *Micro USB connector*, IC manager power LTC3586, dan komponen pendukung lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.6.



Gambar-3.8 Konfigurasi pin dsPIC 33EP512MU810

DSC dengan tipe dsPIC 33EP512MU810 digunakan sebagai kendali SRM karena memiliki kecepatan yang tinggi dalam pengolahan sinyal digital. DSC ini digunakan untuk mengatur pemberian sudut fasa dengan *input* referensi pulsa *rotary encoder*. Pulsa *rotary encoder* diolah untuk menghasilkan sudut fasa dalam pemberian eksitasi stator. Keseluruhan algoritma pemrograman pengendalian SRM menggunakan DSC dsPIC 33EP512MU810 ditunjukkan pada *flowchart* berikut ini:





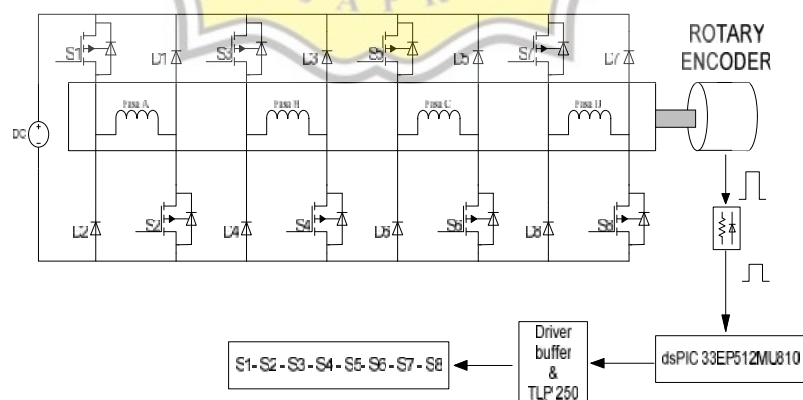
Gambar-3.9 Flowchart pengendalian SRM

Dari flowchart yang ditunjukkan pada Gambar-3.9 pengendalian SRM menggunakan rotary encoder dibagi menjadi dua tahap, tahap pertama menjalankan SRM sebagai motor stepper dan tahap kedua proses motoring SRM dengan rotary encoder. Tahapan pertama SRM dijalankan sebagai motor stepper untuk memenuhi pulsa Pin-Z rotary encoder yang dihubungkan dengan fasilitas timer interrupt INT2 diwakilkan dengan variabel Z. Untuk menjalankan SRM sebagai motor stepper dilakukan dengan menyalakan saklar setiap fasa secara bergantian menggunakan fasilitas delay hingga INT2 tercapai. Apabila INT2 tercapai ( $Z=1$ ) maka pulsa Pin-A yang dihubungkan pada INT1 akan mulai menghitung ( $P=P+1$ ) dan masuk ketahap kedua.

Pada tahapan kedua, variabel Z telah terpenuhi maka pulsa pin A mulai diolah oleh dsPIC 33EP512MU810 untuk menyalakan setiap saklar pada konverter. Apabila pulsa Fasa A terpenuhi akan mengaktifkan S1 dan S2, untuk Fasa B mengaktifkan S3 dan S4, Fasa C mengaktifkan S5 dan S6, dan Fasa D mengaktifkan S7 dan S8.

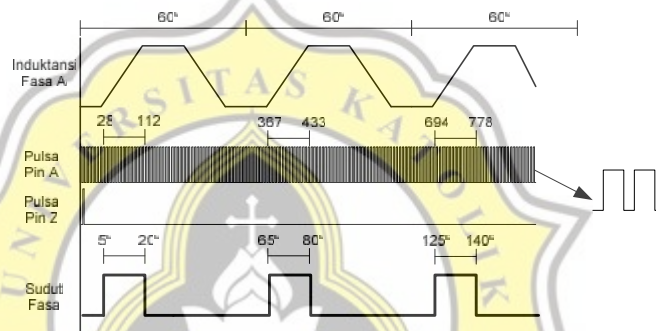
### 3.6 Rangkaian Konverter

Konverter yang digunakan dalam mengoperasikan SRM merupakan konverter *asymmetric* empat fasa yang disesuaikan dengan konstruksi SRM. Konverter *asymmetric* empat fasa terdiri dari 16 buah MOSFET dan setiap fasa memiliki 4 buah MOSFET ( 2 buah MOSFET sebagai saklar statis dan 2 buah MOSFET sebagai dioda *fast recovery*). Dalam mengoperasikan konverter *asymmetric* dibutuhkan *driver optocoupler* TLP 250 dalam mengendalikan MOSFET yang diberikan pulsa *Gate* oleh DSC. Keseluruhan proses pengendalian SRM menggunakan konverter *asymmetric* ditunjukkan pada Gambar-3.4.



Gambar-3.10 Kendali SRM menggunakan konverter *asymmetric*

Saklar-saklar pada konverter dikendalikan menggunakan perhitungan sudut yang dikonversi menjadi pulsa pada *rotary encoder*. Pulsa *rotary encoder* memiliki amplituda tegangan 12 V diturunkan menjadi 5 V menggunakan rangkaian penurun tegangan resistor dan dioda zener sehingga dapat diolah oleh DSC dsPIC 33EP512MU810. Pulsa yang diolah DSC dsPIC 33EP512MU810 digunakan untuk menyalakan sudut eksitasi setiap fasa. Pada Gambar-3.5 ditunjukkan pemberian sudut eksitasi fasa dengan referensi dari pulsa *rotary encoder*.



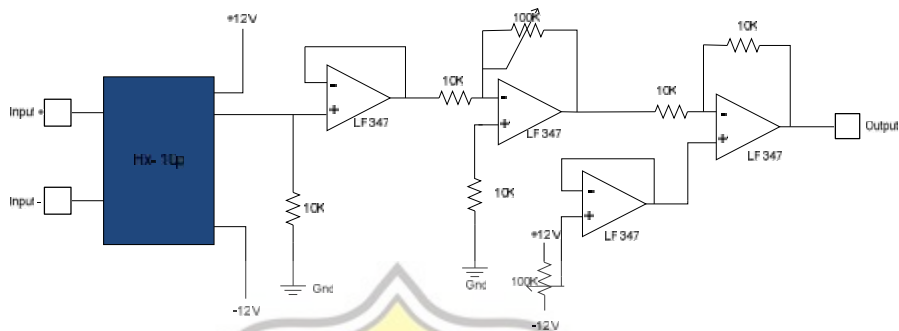
**Gambar-3.11** Pemberian sudut eksitasi fasa dengan referensi dari pulsa *rotary encoder*

Dari Gambar-3.5 pemberian sudut fasa A ditentukan dari profil induktansi, diketahui setiap puncak induktansi diwakilkan dengan 60° elektrik. Dengan data tersebut DSC dapat mengolah pulsa *rotary encoder* yang digunakan sebagai penentuan sudut fasa eksitasi stator.

### 3.7 Rangkaian *Current Sensor* LEM HX-10P

Dalam mendeteksi arus setiap fasa digunakan rangkaian *current sensor* yang terdiri dari *current sensor* LEM HX- 10P, IC OP- AMP LF 347, resistor 10K ohm dan variabel resistor 100K ohm. Rangkaian ini dapat membaca arus hingga 10 A dengan mengkonversi nilai arus menjadi nilai tegangan. IC OP- AMP LF347 dan resistor digunakan sebagai pengaturan *Gain* dan nilai *offset* melalui proses *tunning*

pada variabel resistor. Dalam pengoperasiannya dibutuhkan *supply* tegangan +12 V, -12V, dan *Ground* seperti yang ditunjukkan pada Gambar-3.8. Kalibrasi awal rangkaian ini menggunakan perbandingan 1A : 2.5V.



Gambar-3.12 Skema rangkaian *current sensor* LEM HX-10

