

BAB III

KENDALI Pengereman REGENERATIF PADA *SWITCHED RELUCTANCE MOTOR*

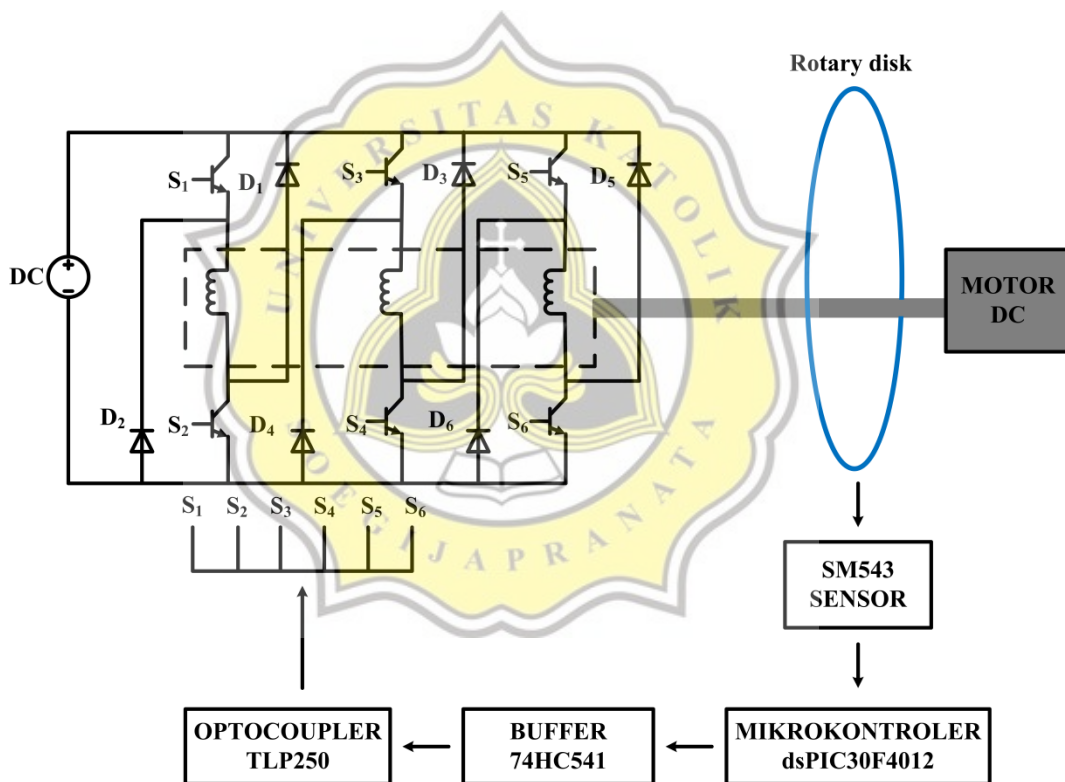
3.1. Pendahuluan

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah kerja pengereman regeneratif menggunakan metode PWM dengan *duty cycle* konstan, untuk mengamati energi yang dibangkitkan saat pengereman regeneratif berlangsung dengan tiga kecepatan yang berbeda. *Switched reluctance motor* juga dilengkapi dengan sensor SM534, keluaran sinyal dari sensor ini digunakan sebagai referensi pensaklaran pada *back EMF* saat pengereman regeneratif berlangsung. Laporan tugas akhir ini dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung seperti mikrokontroler dsPIC30F4012, sensor SM534, motor DC dan *current transducer* atau pendeteksi arus yang berfungsi sebagai pengukur keluaran arus fasa pada SRM. Hasil data pada mikrokontroler digunakan sebagai referensi pensaklaran pada *asymmetric converter* melalui *buffer* dan *optocoupler* TLP250.

3.2. Pengereman Regeneratif

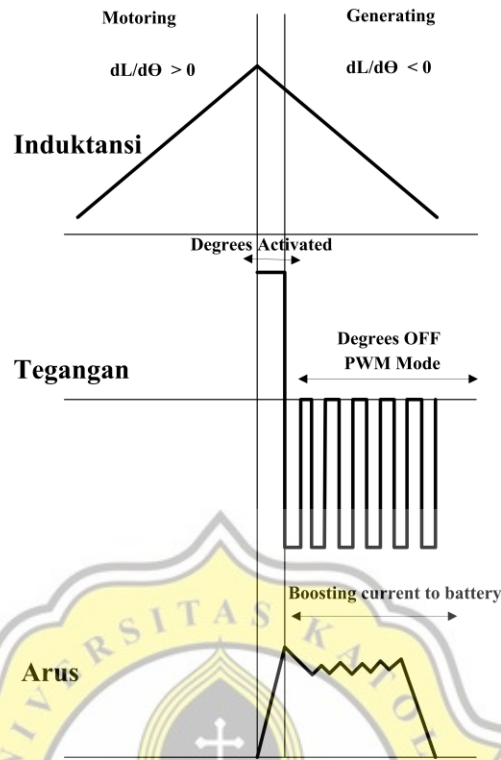
Pengereman regeneratif pada kendaraan listrik memanfaatkan *back EMF*. Agar tegangan keluaran dapat lebih besar daripada tegangan sumber dibutuhkan *boost chopper*, sehingga arus keluaran dapat digunakan untuk mengisi baterai. Besar nilai *back EMF* tergantung pada kecepatan putar motor, selain itu sudut eksitasi pada stator juga berpengaruh pada besarnya *back EMF* yang dihasilkan. Proses eksitasi pada belitan stator berkerja dengan cara menyuntikan energi menggunakan posisi sudut yang tepat, sehingga dapat menimbulkan medan

elektromagnet yang berfungsi untuk menginduksi rotor. Proses tersebut membuat rotor menjadi magnet remanen sehingga dapat dimanfaatkan untuk proses pengereman regeneratif. Penyuntikan energi dengan sudut eksitasi yang tepat, dihasilkan melalui fasilitas *input capture* yang terdapat pada mikrokontroler dsPIC30F4012. Hasil sinyal keluaran pada *input capture* diaplikasikan melalui *rotary disk* yang dilengkapi dengan sensor SM534. Rangkaian *back EMF* detektor pada *switched reluctance motor* dapat dilihat pada Gambar-3.1.



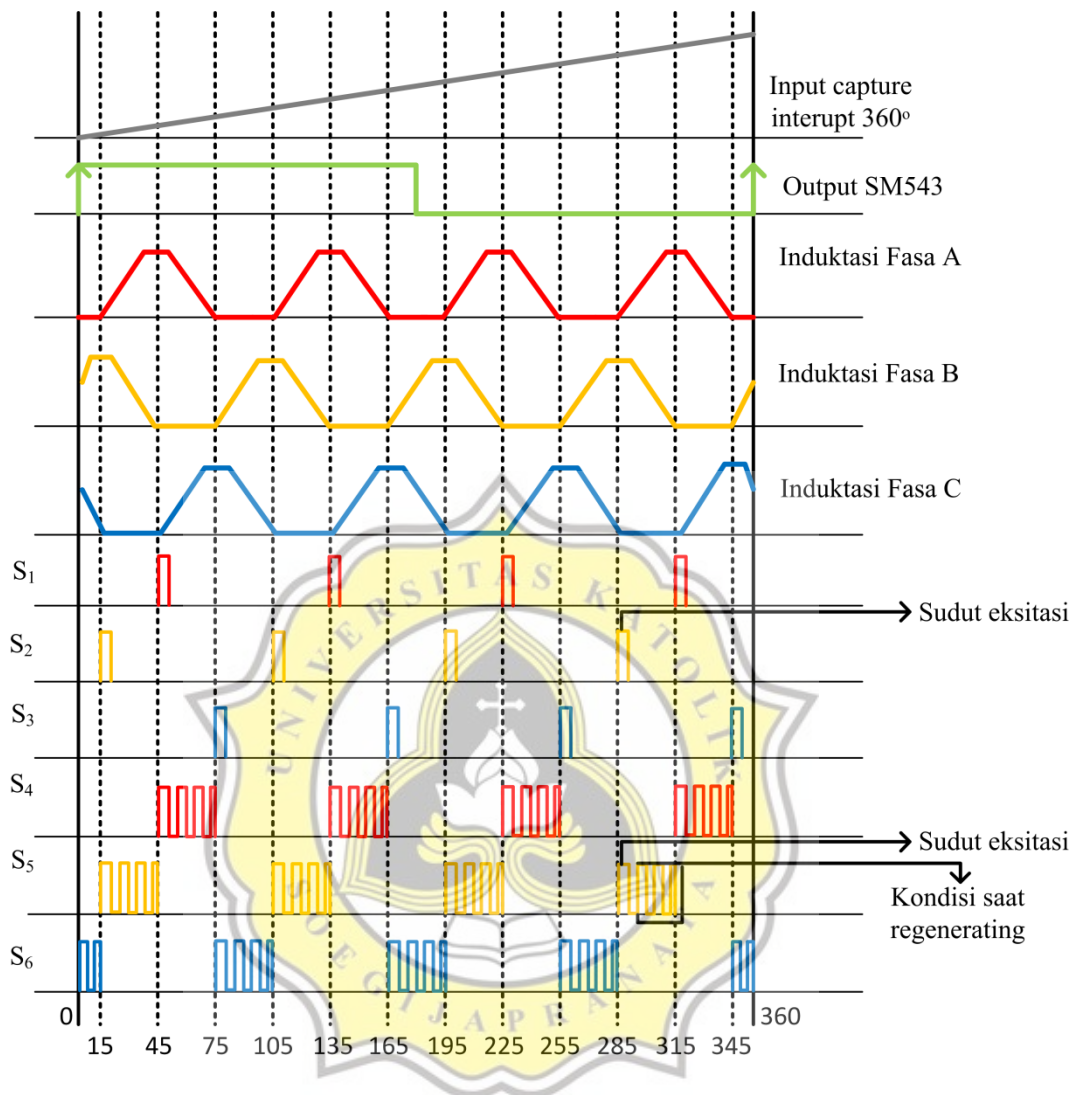
Gambar-3.1 Rangkaian *Back EMF* detektor pada *switched reluctance motor*

Proses penyuntikan energi pada sudut eksitasi dimulai ketika kendaraan listrik mulai mengalami pengereman, selanjutnya akan timbul *back EMF* yang dapat melebihi tegangan masukan dan dapat digunakan untuk mengisi baterai. Penentuan sudut eksitasi menggunakan metode PWM dan fasilitas *input capture* dapat dilihat pada Gambar-3.2.



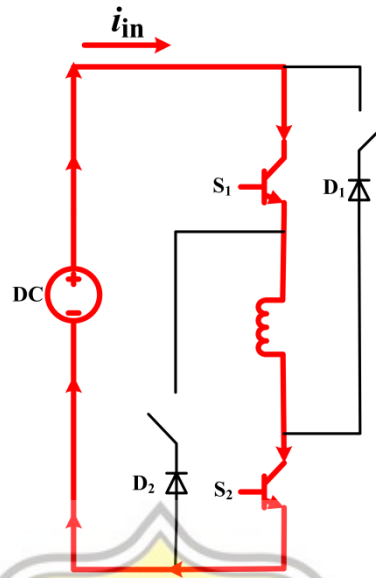
Gambar-3.2 Penentuan sudut eksitasi menggunakan metode PWM dan fasilitas *input capture*

Berdasarkan fasilitas input capture yang terdapat pada mikrokontroler, sudut komutasi tiap saklar MOSFET memiliki proses switching yang dihitung dari sudut naik hingga sudut naik lainnya. Data keluaran dari sudut eksitasi tersebut dikonversi menjadi nilai integer dengan satuan derajat dari 0 – 360°. Penentuan saklar yang akan diaktifkan dapat dilihat pada Gambar-3.3, selama proses berlangsung saklar yang digunakan adalah S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 dan S_6 .



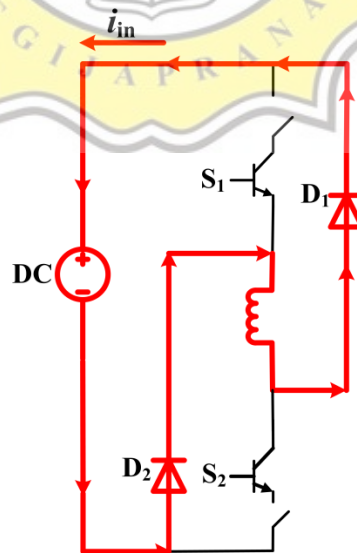
Gambar-3.3. Penentuan saklar aktif untuk memberikan eksitasi

Ketika *switched reluctance* dioperasikan dengan proses regenerating, saklar yang digunakan adalah S_4 , S_5 dan S_6 . Aliran arus pada *asymmetric converter* saat mode motoring dapat dilihat pada Gambar-3.4. Ketika mode motoring berkerja, kecepatan pada motor dapat diatur dan dioperasikan sebagai putaran awal pada kendaraan listrik.



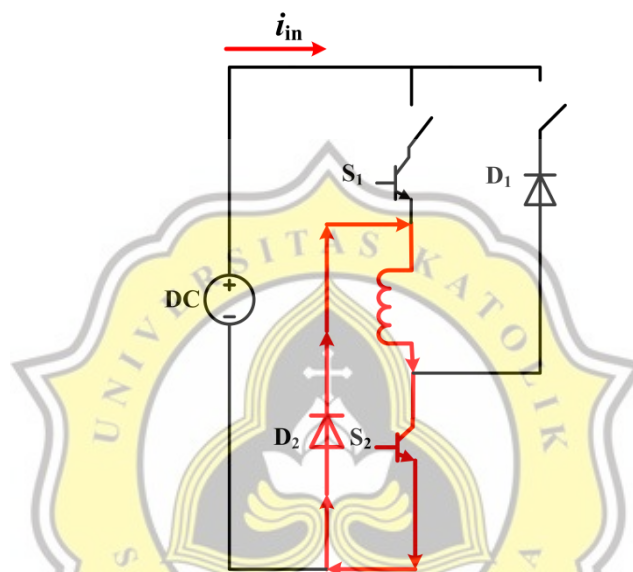
Gambar-3.4 Mode motoring pada *asymmetric converter*

Pada Gambar-3.4 arus mengalir dari sumber DC yang berupa baterai 24 V menuju saklar MOSFET 1 (S_1) melewati motor menuju saklar MOSFET 2 (S_2) selanjutnya arus mengalir kembali menuju sumber DC. Pada kondisi ini dioda 1 (D_1) dan dioda 2 (D_2) tidak aktif.



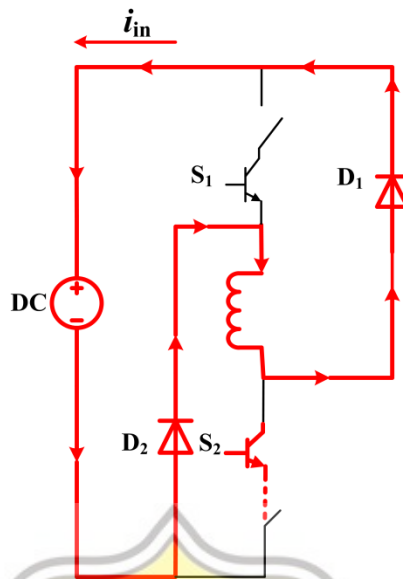
Gambar-3.5 Mode regenerating pada *asymmetric converter*

Mode regenerating pada *asymmetric converter* dapat dilihat pada Gambar-3.5, ketika mode ini berkerja arus mengalir melalui sumber DC menuju dioda 2 (D_2) melewati motor menuju dioda 1 (D_1) selanjutnya arus mengalir kembali menuju sumber DC. Pada saat mode ini berkerja, saklar 1 (S_1) dan saklar 2 (S_2) pada MOSFET dalam keadaan *OFF*.



Gambar-3.6 Mode *freewheeling* pada *asymmetric converter*

Mode *freewheeling* pada *asymmetric converter* dapat dilihat pada Gambar-3.6, mode ini berkerja dengan memanfaatkan sisa arus yang mengalir melalui saklar 2 (S_2) melewati dioda 2 (D_2) dan berputar kembali menuju motor. Dalam kondisi ini saklar 1 (S_1) dan dioda 1 (D_1) dalam kedaan tidak aktif.



Gambar-3.7 Aliran arus pada saat pengereman regeneratif

Pada Gambar-3.7 merupakan aliran arus pada *asymmetric converter* ketika pengereman regeneratif berkerja. Ketika pengereman berlangsung arus akan mengalir melewati sumber DC, menuju dioda 2 (D_2) selanjutnya arus mengalir melewati motor menuju dioda 1 (D_1) dan kembali menuju sumber DC. Ketika PWM mulai berkerja energi yang dibangkitkan mulai mengisi batere, saklar pada MOSFET 2 (S_2) berkerja *ON & OFF* secara terus menerus hingga batere terisi sepenuhnya. Energi yang dibangkitkan ini akan mempengaruhi hasil pengisian pada batere. Ketika saklar pada MOSFET 2 (S_2) *ON*, maka arus mengalami proses *freewheeling*. Aliran arus ketika *freewheeling* hanya akan melewati dioda 2 (D_2), motor dan saklar MOSFET 2 (S_2), sedangkan saklar 1 (S_1) dalam keadaan tidak aktif.

3.3. Sensor SM534

Metode *input capture* yang diterapkan pada penelitian ini membutuhkan sensor penunjang untuk mengubah sinyal masukan digital menjadi nilai *integer*. Pada penelitian ini digunakan sensor SM534 yang berfungsi untuk memperoleh sinyal masukan digital, sensor ini memiliki dua bagian utama (*transmitter* dan *receiver*). Pada pengaplikasiannya sensor ini membutuhkan suatu benda (*rotary disk*) yang telah dimodifikasi (diberi lubang) agar sinyal keluaran digital dapat terbaca, ketika lubang pada rotary disk melewati dua bagian utama dari sensor ini maka sinyal keluaran digital bernilai 0. Pada saat lubang pada rotary disk tidak melewati dua bagian utama dari sensor ini maka sinyal keluaran digital akan bernilai 1.



Gambar-3.8 Sensor SM534

<https://www.bukalapak.com/products/s/sensor-counter-sensor-kecepatan>

Keterangan:

Pin 1 : VCC yang berfungsi sebagai sumber tegangan

Pin 2 : GND berfungsi sebagai *grounding*

Pin 3 : DO berfungsi sebagai sinyal keluaran digital

Pin 4 : AO berfungsi sebagai sinyal keluaran analog

3.4. Pendeteksi Arus LEM HX-10P

Pendeteksi arus yang digunakan pada laporan tugas akhir ini berjenis LEM HX-10P, pendeteksi arus ini berfungsi sebagai pengukur hasil gelombang arus keluaran pada saat pengereman regeneratif berlangsung. Sensor jenis LEM HX-10P yang ditunjukkan pada Gambar-3.9 mempunyai batas arus maksimal penggunaan sebesar 10 A, nilai pembacaan yang dihasilkan oleh sensor arus diperkuat lagi agar gelombang data yang dihasilkan pada modul menjadi lebih jelas.



Gambar-3.9 Pendeteksi arus LEM HX-10P
<https://id.rsdelivers.com/product/lem/hx-10-p/lem-hx-series-open-loop-current-sensor-30a/4358640>

Pendeteksi arus ini berkerja dengan cara mengkonversikan pembacaan arus kedalam nilai tegangan, perbandingan arus dan perbandingan tegangan yang dihasilkan dari modul pendeteksi arus ini dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.

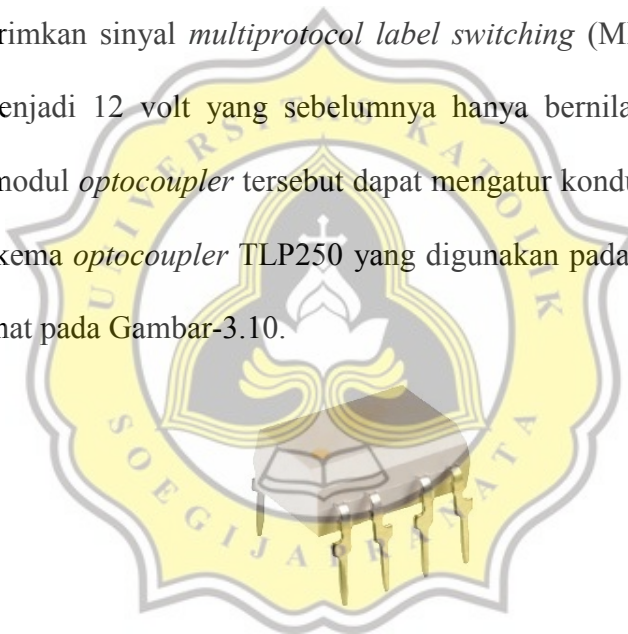
3.5. Rangkaian kontrol

Rangkaian kontrol pada laporan tugas akhir ini terdiri dari sismin dsPIC30F4012. Rangkaian kontrol ini juga dilengkapi dengan sebuah modul *driver* yang terdiri dari *optocoupler* TLP250 dan IC *buffer* 74HC541. Modul *driver* ini berfungsi sebagai *interfacing* antar *block control* yang beroperasi pada

tegangan dan arus rendah, selanjutnya digunakan untuk mengoperasikan rangkaian daya dengan skala tegangan dan arus tinggi sesuai dengan perintah dari *digital signal controller* (DSC). Beberapa fungsi dari rangkaian kontrol dijelaskan seperti berikut:

a. *Optocoupler* TLP 250

Optocoupler TLP250 berfungsi sebagai sebuah isolator antara sistem kontrol dan sistem daya. Modul *optocoupler* ini juga berfungsi sebagai perantara untuk mengirimkan sinyal *multiprotocol label switching* (MLPS). Sinyal MLPS dikuatkan menjadi 12 volt yang sebelumnya hanya bernilai 5 volt, tujuannya adalah agar modul *optocoupler* tersebut dapat mengatur konduktivitas pada saklar MOSFET. Skema *optocoupler* TLP250 yang digunakan pada laporan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar-3.10.



Gambar-3.10 *Optocoupler* TLP250

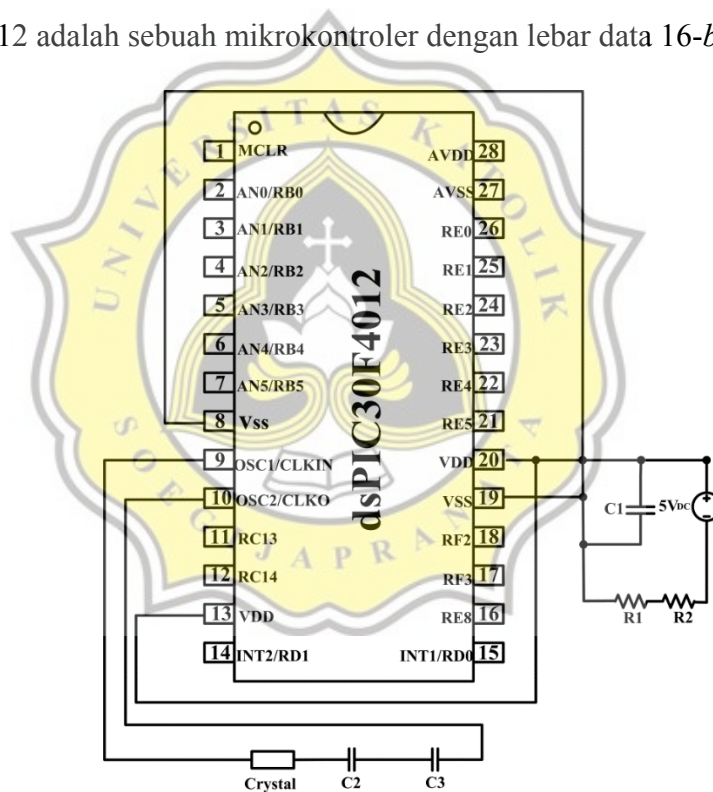
<https://www.reichelt.com/de/en/optocoupler-2-5-kv-mosfet-drive-1-5-a-dip-8-tlp-250-p146679.html>

b. *Buffer* 74HC541

IC *buffer* berfungsi sebagai penguat dan pengunci tegangan keluaran pada IC mikrokontroler dsPIC30F4012 yang beroperasi pada tegangan 5 Volt. IC *buffer* digunakan agar keluaran dari IC mikrokontroler tidak mengalami penurunan dan untuk menjaga proses pensaklaran pada MOSFET berjalan normal.

c. Mikrokontroler dsPIC30F4012

Mikrokontroler dsPIC30F4012 merupakan peralatan kendali berbasis digital yang menggunakan *Digital Signal Controller* (DSC). Mikrokontroler jenis ini membutuhkan perangkat tambahan yang terdiri dari kapasitor dan *crystal* yang digunakan sebagai pembangkit *clock*, untuk menjadikan *system minimum* yang dioperasikan bersama dengan modul lainnya. Rangkaian *system minimum* dari DSC dapat dilihat pada Gambar-3.11, *Digital Signal Controller* (DSC) jenis dsPIC30F4012 adalah sebuah mikrokontroler dengan lebar data 16-bit.



Gambar-3.11 Rangkaian sistem minimum dsPIC30F4012

Pada laporan tugas akhir ini telah dijelaskan bahwa metode pengereman regeneratif memanfaatkan fasilitas *input capture* pada dsPIC30F4012, dari Gambar-3.11 fasilitas *input capture* terletak pada RD₁ dan RD₀ yaitu pada pin 14 dan 15 dalam IC mikrokontroler dsPIC30F4012.