

MODIFIKASI PANEL KENDALI REAKTOR TRIGA 2000 DALAM MODE MANUAL

Didi Gayani

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir - BATAN

ABSTRAK

MODIFIKASI PANEL KENDALI REAKTOR TRIGA 2000 DALAM MODE MANUAL. Untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat gangguan sistem komputer dan perangkat lunaknya, telah dilakukan modifikasi terhadap sistem instrumentasi dan kendali reaktor TRIGA 2000 Bandung. Modifikasi dilakukan secara bertahap mulai dari pembuatan panel kontrol dalam mode manual sampai dengan penggunaan komputer untuk sistem pengamatan dan kendali. Modifikasi panel kontrol reaktor TRIGA 2000 Bandung dilakukan agar reaktor dioperasikan secara manual tanpa melibatkan penggunaan komputer. Prioritas utama dari kegiatan ini adalah membuat sistem kontrol reaktor, mengatur gerak naik turun batang kendali reaktor secara aman. Pengujian hasil modifikasi dilakukan melalui tahap komisioning sesuai prosedur dan diketahui BAPETEN

Kata kunci: sistem instrumentasi dan kendali (SIK), instrumentasi reaktor

ABSTRACT

MODIFICATION OF PANELBOARD FOR CONTROLLING REACTOR POWER OF TRIGA 2000 IN THE MANUAL MODE. To solve the problem arise from the severe malfunction of the computer system including its software, the modification of the Instrumentation & Control of TRIGA 2000 Bandung was performed. Modification being performed in several stages of activity, starting from the modification of panel board of the reactor control up to the usage of computer system for monitoring and controlling. Modification of panel board was done to control the reactor power manually without the usage of computer. The main priority in this activity is to make the control system of reactor power, raising and lowering the control rod in the safe operation. The testing of modification is performed through the stage of commissioning and agreed with the procedure of BAPETEN.

Key words: instrumentation and control (I & C) system, reactor instrumentation

LATAR BELAKANG

Sistem instrumentasi reaktor TRIGA 2000 dibangun sebagai sistem instrumentasi berbasis mikrokomputer. Walaupun sistem instrumentasi reaktor tersebut mempunyai mode pengoperasian reaktor secara manual dan otomatis, tetapi kinerja seluruh sistem tersebut sangat bergantung sepenuhnya pada kondisi normal dari komputer yang terlibat serta sistem jaringan (*network*) antar sub sistem yang tercakup dalam keseluruhan sistem instrumentasi reaktor tersebut. Gambar 1 memperlihatkan diagram blok dari sistem instrumentasi reaktor TRIGA 2000 [1].

Keunggulan sistem tersebut adalah kompleksitas kinerja peralatan dapat dengan mudah ditangani dengan bantuan komputer melalui program perangkat lunak yang menyertainya. Dalam sistem tersebut digunakan 2 buah komputer yang masing-masing ditempatkan pada bagian *Data Acquisition & Control (DAC)* dan bagian *Control System Console (CSC)*. DAC berfungsi sebagai *interface* yang mengatur interaksi antara kegiatan di ruang kontrol dengan apa yang terjadi di reaktor, sedangkan CSC berfungsi sebagai *interface* antara operator dengan sistem instrumentasi. Dalam hal ini semua tindakan operator terhadap sistem kontrol reaktor akan dibaca dan diterjemahkan melalui komputer yang ada di CSC, dan informasi dari sistem teramati oleh operator baik melalui layar monitor ataupun melalui indikator lampu-lampu yang bersangkutan. Komunikasi antara masing-masing komputer dilakukan melalui saluran *network* yang mempunyai saling ketergantungan.

Kendala sistem tersebut di atas bagi pemakai adalah ketergantungan sepenuhnya terhadap komputer dan sistem perangkat lunak yang menyertainya. Pengalaman menunjukkan bahwa sering terjadi kerusakan pada perangkat lunak dan bahkan pada media penyimpan perangkat lunak (*harddisk*). Pada saat terjadi hal demikian dan posisi pemakai tidak mempunyai program sumber dari perangkat lunak, maka akan sangat bergantung kepada pemasok sistem yaitu General Atomic.

Ketertanggungannya ini akan sangat menyulitkan baik dalam hal biaya, waktu dan risiko ketiadaan suku cadang yang sudah dianggap usang.

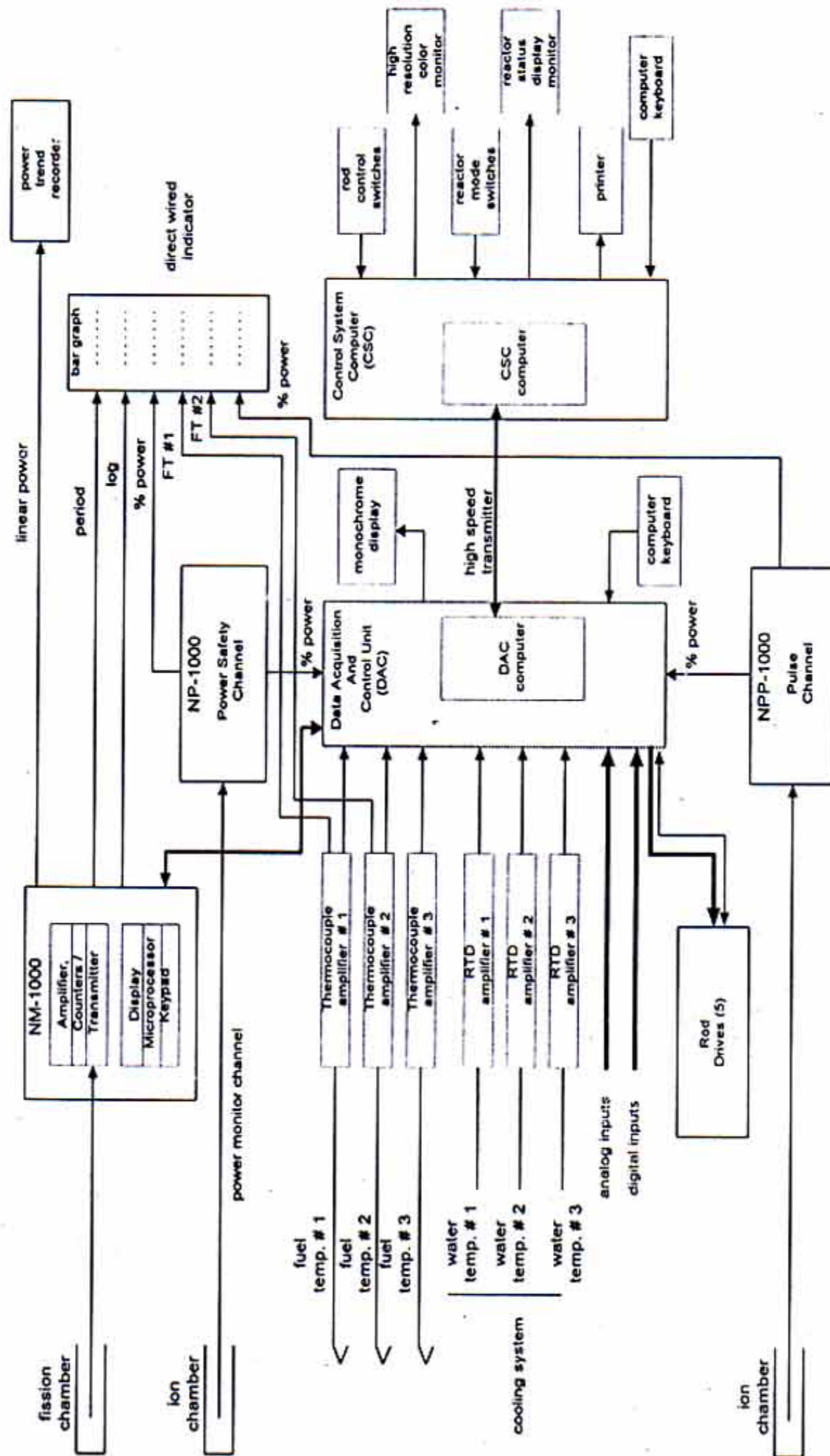
Untuk mengantisipasi kesulitan tersebut di atas, timbul pemikiran untuk memodifikasi sistem instrumentasi tersebut dengan rancangan atas kemampuan mandiri dengan tetap memperhatikan sistem keselamatan yang sudah baku serta memanfaatkan bagian perangkat keras yang sudah ada dan dianggap mempunyai unjuk kerja yang baik.

Sistem yang direncanakan adalah sistem yang mampu mengendalikan daya secara manual dan mampu bekerja melakukan pengendalian daya melalui komputer. Pekerjaan ini dilakukan dalam beberapa tahap perencanaan.

BAHAN DAN TATA KERJA

Lingkup pekerjaan

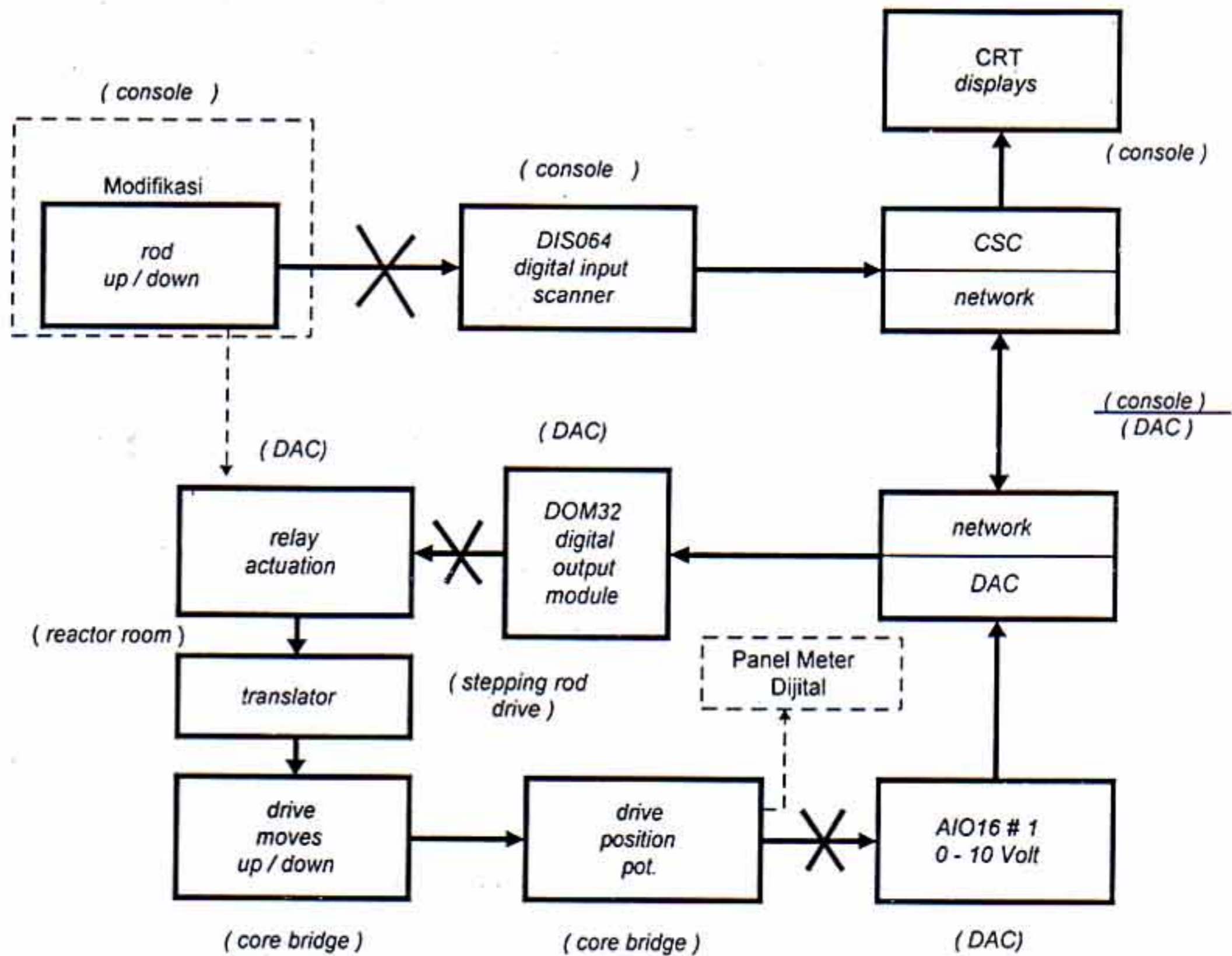
Modifikasi yang dilakukan adalah membuat sistem instrumentasi tersebut mampu bekerja secara manual tanpa bergantung pada komputer. Lingkup pekerjaan yang dilakukan adalah bagaimana membuat suatu panel kontrol baru yang dapat mengaktifkan secara langsung sistem relai penggerak (*relay actuation system*) motor untuk naik / turunnya batang kendali dengan tetap memperhatikan kriteria keselamatan operasi yang sudah baku. Untuk sistem pengamatan ketinggian posisi batang kendali dibahas pada kesempatan lain termasuk dalam sistem pengamatan parameter parameter dalam pengoperasian reaktor seperti daya, temperatur dan sebagainya. Rancangan modifikasi dilakukan dengan memahami kinerja peralatan yang sudah ada dan dianggap baik, sehingga tidak banyak melakukan perubahan dari rancangan semula.



Gambar 1. Diagram blok sistem instrumentasi reaktor TRIGA 2000

Gambar 2 merupakan blok fungsional kinerja kendali reaktor yang sudah ada [1, 2, 3]. Pada gambar tersebut terlukiskan bahwa kinerja kendali reaktor secara manual adalah sebagai berikut :

1. Operator melakukan penekanan tombol pada blok *rod up / down*. Status tombol *up* atau *down* yang ditekan dan dipilih untuk batang kendali (*control rod*) yang bersangkutan akan dideteksi oleh *Digital Input Scanner (DIS064)* dan diinformasikan kepada komputer CSC.
2. Komputer CSC akan menganalisis berdasarkan kriteria keselamatan dan setelah itu perintah yang sesuai akan disalurkan melalui *network* ke komputer *DAC*.
3. Perintah dari komputer CSC akan diartikan oleh komputer *DAC* dan diteruskan melalui blok *Digital Output Module (DOM32)* untuk mengaktifkan relai (*relay*) yang bersangkutan pada blok rangkaian relai.
4. Selanjutnya aktifnya relai yang bersangkutan akan menentukan aktifnya blok *translator* yang bersangkutan sebagai penggerak motor langkah (*stepping motor*) untuk membawa batang kendali naik atau turun sesuai dengan perintah yang diaktifkan oleh operator. Dalam kondisi normal batang kendali yang bersangkutan terpegang oleh elektro-magnet yang diaktifkan.
5. Posisi ketinggian batang kendali dideteksi oleh sensor potensiometer dan diakuisisi melalui blok *Analog to Digital Converter (AIO16)* yang diaktifkan oleh komputer *DAC*.
6. Informasi ketinggian posisi batang kendali yang bersangkutan dikirimkan oleh komputer *DAC* melalui *network* ke komputer CSC dan ditampilkan di layar monitor yang dapat diamati oleh operator.



Gambar 2. Blok fungsional mode manual sistem instrumentasi reaktor

Modifikasi yang direncanakan dan tetap mengacu pada gambar tersebut di atas dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Untuk sementara komputer terpasang tidak diaktifkan. Hal ini terlihat dengan silang garis di antara blok *rod up / down* dan blok DIS064, antara blok DOM32 dan blok *relay actuation*, serta antara blok *rod drive potentiometer* dan blok AIO16.

2. Aktivitas penekanan tombol pengaturan batang kendali oleh operator melalui rangkaian logik akan diteruskan untuk mengaktifkan blok *relay actuation*, seperti terlihat pada gambar melalui garis terputus-putus.
3. Selanjutnya urutan kinerja tetap seperti semula sampai pendeteksian posisi ketinggian batang kendali yang bersangkutan melalui sensor potensiometer. Sinyal dari potensiometer tersebut yang awalnya diberikan kepada komputer melalui blok *ADC (AIO16)*, dialihkan untuk ditampilkan melalui blok *Digital Panel Meter* dan dipasangkan sebagai blok yang baru, terlihat sebagai blok dengan garis terputus-putus.

Kriteria rancangan modifikasi

Kegiatan modifikasi dalam tahap ini adalah membuat panel kontrol kendali reaktor secara manual tanpa menggunakan komputer. Kriteria rancangan modifikasi tetap memperhatikan faktor keselamatan yang telah dibangun sebelumnya melalui sistem *scram* maupun *interlock* dalam mengatur gerak batang kendali. Rancangan modifikasi juga akan tetap melibatkan bagian-bagian perangkat keras yang digunakan dan telah dianggap sebagai rancangan yang baik.

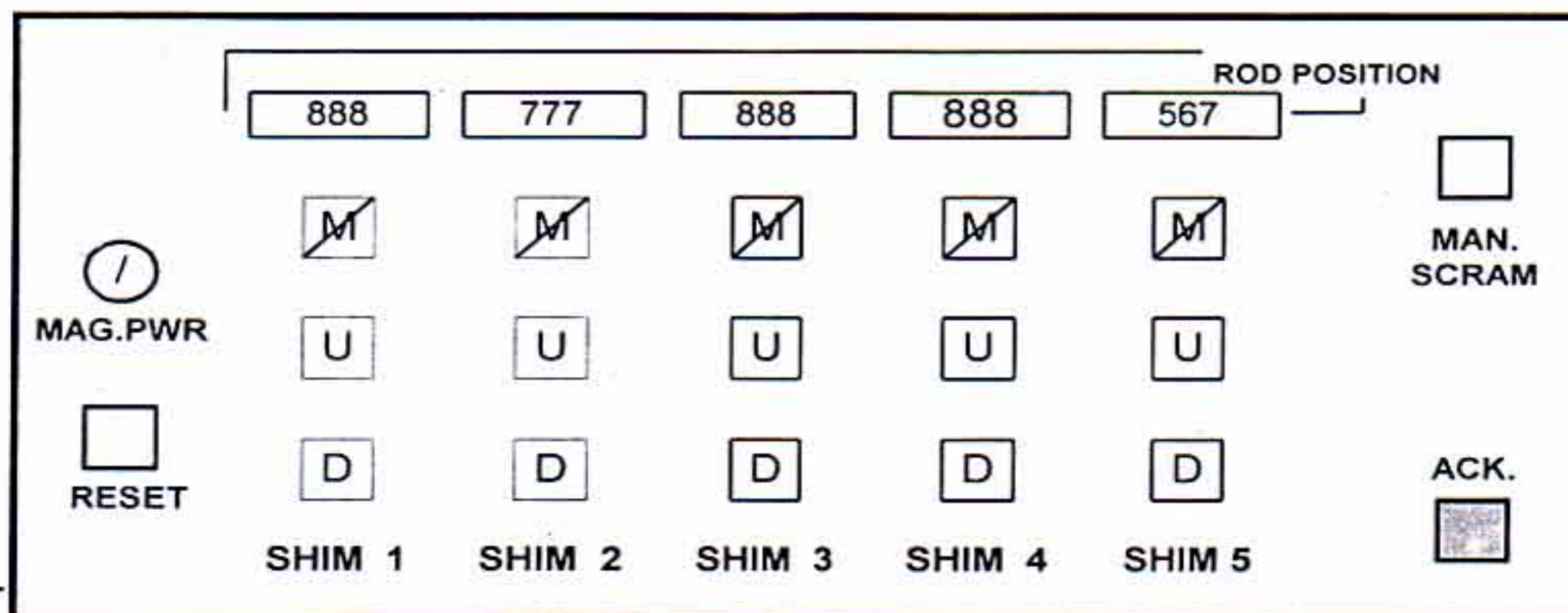
Kriteria rancangan yang dibuat dapat dibagi dalam 2 kategori.

1. Kriteria tampilan :

- a. Panel kontrol harus mempunyai tombol-tombol untuk menaikkan batang kendali yang dipegang melalui pengaktifan magnet pemegang batang kendali. Untuk lima buah batang kendali harus ada 5 buah tombol untuk menaikkan batang kendali, yaitu *Shim 1*, *Shim 2*, *Shim 3*, *Shim 4* dan *Shim 5*. Panel kontrol harus mempunyai tombol-tombol untuk menurunkan batang kendali yang dipegang melalui pengaktifan magnet pemegang batang kendali. Untuk lima buah batang kendali memerlukan 5 buah tombol untuk menurunkan batang kendali, yaitu *Shim 1*, *Shim 2*, *Shim 3*, *Shim 4* dan *Shim 5*.

- b. Panel kontrol harus mempunyai fasilitas tombol untuk melepaskan batang kendali secara individu melalui penghilangan arus magnet pemegang batang kendali (*scram* individu). Untuk lima buah batang kendali memerlukan 5 buah tombol untuk membuat *scram* secara individu melalui penghilangan arus magnet, yaitu *Mag. Shim 1*, *Mag. Shim 2*, *Mag. Shim 3*, *Mag. Shim 4*, *Mag. Shim 5*.
- c. Panel kontrol harus mempunyai tombol untuk melakukan pelepasan batang kendali secara bersama dari 5 buah batang kendali yang digunakan (*Manual Scram*).
- d. Panel kontrol harus mempunyai indikator posisi batang kendali untuk lima buah batang kendali, yaitu posisi *Shim 1*, posisi *Shim 2*, posisi *Shim 3*, posisi *Shim 4* dan posisi *Shim 5*.
- e. Panel kontrol mempunyai saklar kunci (*key switch*) sebagai pengaman untuk mengaktifkan arus magnet dalam keadaan normal dan fasilitas untuk *mereset* arus magnet dalam kondisi normal pada awal operasi atau untuk kondisi normal setelah adanya gangguan *scram* pada lingkaran jalur *scram*.
- f. Panel kontrol harus mempunyai indikator lampu yang menyatakan masing-masing batang kendali tersebut pada posisi batas atas dan batas bawah. Masing-masing indikator tersebut dinyatakan sebagai *Mag. UP*, *Mag. DN*, dan *Rod DN*.

Gambar dari panel kontrol yang direncanakan terlihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Panel kontrol batang kendali

2. Kriteria kinerja panel kontrol :

Kinerja dari panel kontrol diatur secara elektronik melalui rangkaian logik pengaturan batang kendali yang memberikan kondisi-kondisi sebagai berikut :

- a. Naik/turunnya penggerak batang kendali hanya dilakukan melalui penekanan tombol yang bersangkutan pada panel kontrol.
- b. Secara manual naiknya batang kendali hanya diijinkan satu melalui penekanan tombol yang tunggal. Jika ada lebih dari satu buah tombol naik (*UP*) ditekan, maka tidak ada gerak motor yang menaikkan batang kendali.
- c. Secara manual turunnya batang kendali dapat dilakukan secara bersama-sama dengan menekan tombol turun (*DN*) dari masing-masing yang bersangkutan.
- d. Jika ada satu tombol naik (*UP*) batang kendali ditekan dan satu atau lebih tombol turun (*DN*) dari batang kendali yang lainnya ditekan, maka hal tersebut diijinkan.
- e. Tercapainya batas atas atau bawah dari posisi magnet pembawa batang kendali diindikasikan dengan lampu yang menyala pada tombol yang bersangkutan untuk masing-masing batang kendali.
- f. Terbawa naiknya batang kendali oleh magnet harus diindikasikan oleh lampu yang menyala.
- g. Batas posisi ketinggian batang kendali yang digerakkan diinformasikan melalui *digital panel meter* dalam jangkauan dari 0 sampai dengan 999.
- h. *Scram* individu diaktifkan dengan menekan tombol yang bersangkutan untuk maksud pemutusan arus magnet pemegang batang kendali yang bersangkutan.

- i. *Scram* bersama secara serentak dapat dilakukan dengan menekan tombol *Manual Scram* dengan maksud melakukan pemutusan arus magnet pemegang seluruh batang kendali secara total.
- j. Tombol-tombol tersebut harus baik dan stabil serta tidak mudah teraktifkan hanya dengan sentuhan ringan.
- k. Untuk menghindari kesalahan yang tidak diinginkan serta mengingatkan operator, pengaturan arus magnet (*Mag. Reset*) dalam keadaan normal pada saat awal atau setelah penghilangan penyebab *scram* dilakukan dengan pemutaran saklar *kunci (key switch)* ke posisi tertentu.

3. Kriteria keselamatan dalam sistem

- a. Untuk mencegah hal yang tak diinginkan, pada saat awal dalam kondisi *minimum source* tidak tercapai harus terjadi *interlock* agar batang kendali tidak dapat dinaikkan.
- b. Untuk menjamin keselamatan operasi, modifikasi panel kontrol batang kendali akan tetap memperhatikan sistem keselamatan yang baku dan telah ada pada sistem sebelumnya melalui pengaktifan kondisi *scram* secara *hard-wired*, kecuali untuk hal-hal yang disebabkan oleh komputer melalui kondisi perangkat *watch-dog*. Gambar 4a dan 4b memperlihatkan jalur arus magnet yang dapat diputuskan atas kondisi *scram* melalui kondisi abnormal dari masing-masing elemen pendukungnya yang telah ada sebagai sistem semula. Pada kondisi sebagai rancangan yang baru, elemen pendukung sistem *scram* dari *watch-dog 1 (WD1)* dan *watch-dog 2 (WD2)* baik dari unit CSC maupun dari unit *DAC* akan 'dinon-aktifkan' untuk sementara sejalan

dengan tidak digunakannya sistem komputer. Pada gambar ditandai dengan kotak garis terputus-putus.

Kriteria penerimaan

Kriteria penerimaan hasil modifikasi terkait dengan kriteria rancangan modifikasi. Uji coba hasil modifikasi didahului dengan pengamatan kesesuaian kriteria tampilan yang direncanakan dengan hasil fisik. Pengujian kriteria kinerja peralatan dilakukan dengan prosedur pengujian yang disesuaikan dengan syarat-syarat yang tertuliskan dalam kriteria kinerja peralatan yang direncanakan. Kriteria penerimaan dalam aspek yang terkait keselamatan operasi dilakukan melalui prosedur pengujian yang dilakukan melalui pengujian dingin dan pengujian panas, yang utamanya menguji sistem pengaktifan kondisi *scram*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

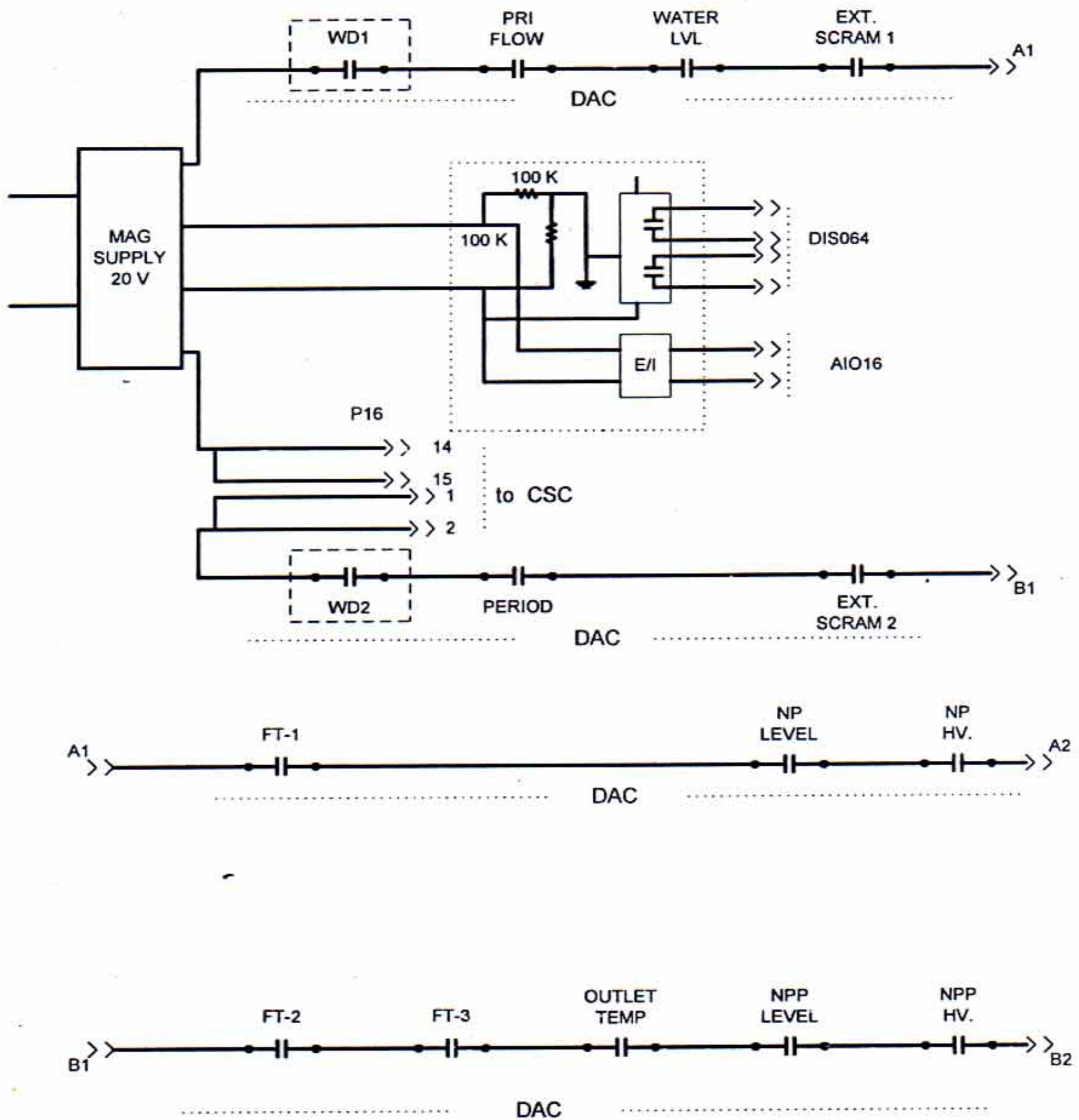
Pengaturan gerak motor penaik-turun batang kendali

Pembuatan rangkaian elektronik untuk pengaturan naik turun batang kendali, dilakukan dengan tetap memperhatikan rangkaian sistem yang sudah terpasang sebelumnya. Dalam hal ini perlu diperhatikan blok *relay actuation* untuk pengaturan gerak batang kendali yang terdapat pada Gambar 2 dan diperlihatkan secara rinci pada Gambar 5 untuk setiap kontrol batang kendali.

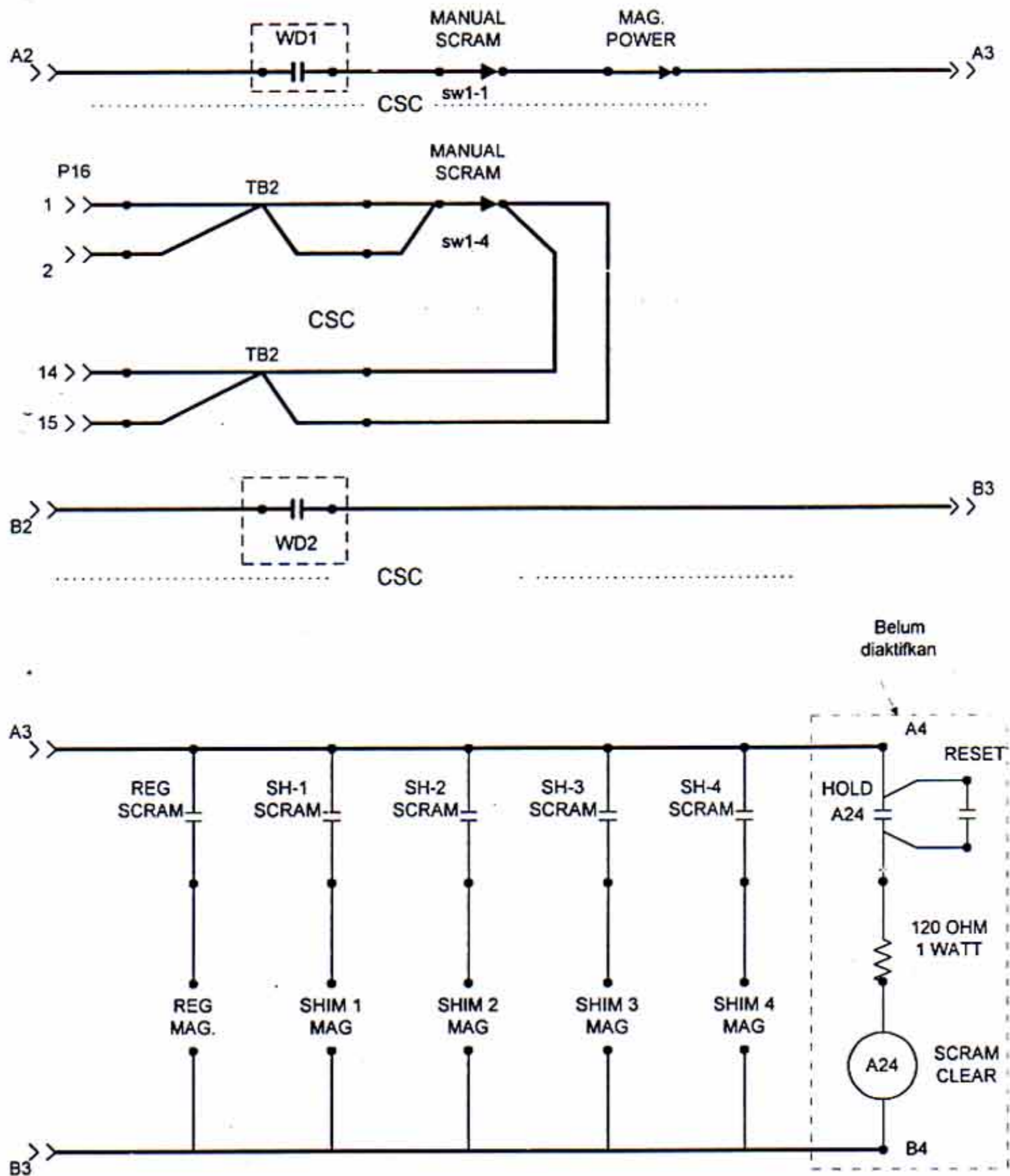
Tampak pada Gambar 5 bahwa untuk menggerakkan motor pembawa batang kendali adalah dengan mengaktifkan relai yang berhubungan dengan pengaturan gerak motor. Pengaktifan tersebut dilakukan melalui DOM 32 yang dikendalikan oleh komputer. Sebagai contoh untuk menaikkan batang kendali maka akan diaktifkan relai K_{MU} sehingga menyebabkan terminal kontak relai K_{MU} tersebut akan terhubung dan mengalirkan sinyal luaran dari *V/F Converter* diteruskan ke

translator gerak motor langkah setelah melalui *microswitch* di *rod assembly* dan rangkaian *Signal Conditioning*. Demikian juga pada saat menurunkan penggerak batang kendali maka relai KMD diaktifkan sehingga terminal kontak relai KMD akan terhubung dan mengalirkan sinyal luaran *V/F Converter* diteruskan ke *translator* setelah melalui *microswitch* di *rod assembly* dan rangkaian *Signal Conditioning*. Pada kondisi gerak manual sinyal penggerak motor langkah berasal dari tegangan searah 5 Volt yang diubah menjadi untaian pulsa oleh rangkaian *Voltage to Frequency Converter*, sedangkan pada mode otomatis semua relai baik untuk manual *UP*, manual *DN* dan *AUTO* akan diaktifkan dan sinyal penggerak motor langkah berasal dari rangkaian *Digital to Analog Converter* sebagai bagian dari sistem pengaturan. Polaritas tegangan dari *DAC* dapat positif atau negatif yang akan menentukan gerak pembawa batang kendali bersangkutan naik atau turun, sedangkan posisi batang *electromagnet* pembawa batang kendali akan dideteksi melalui *potensiometer* yang akhirnya dibaca oleh rangkaian *ADC*.

Selain itu, posisi magnet pada batas terbawah atau teratas dan juga posisi batang kendali di bawah akan dibaca oleh *digital input scanner* melalui kopling optis. Jadi dalam hal memodifikasi panel kontrol gerak batang kendali yang tidak bergantung pada komputer, dilakukan dengan cara membuat suatu rangkaian yang menggantikan fungsi *DOM32* dengan masukan dari operator, rangkaian monitor logik sebagai pengganti *digital input scanner* baik untuk deteksi posisi ekstrim *electromagnet* dan batang kendali maupun untuk fungsi keselamatan melalui sistem *scram* serta rangkaian yang berfungsi sebagai pengukuran analog pengganti *ADC*.



Gambar 4a. Diagram garis pengkawatan sistem *scram*



Gambar 4b. Diagram garis pengkawatan sistem *scram* (lanjutan)

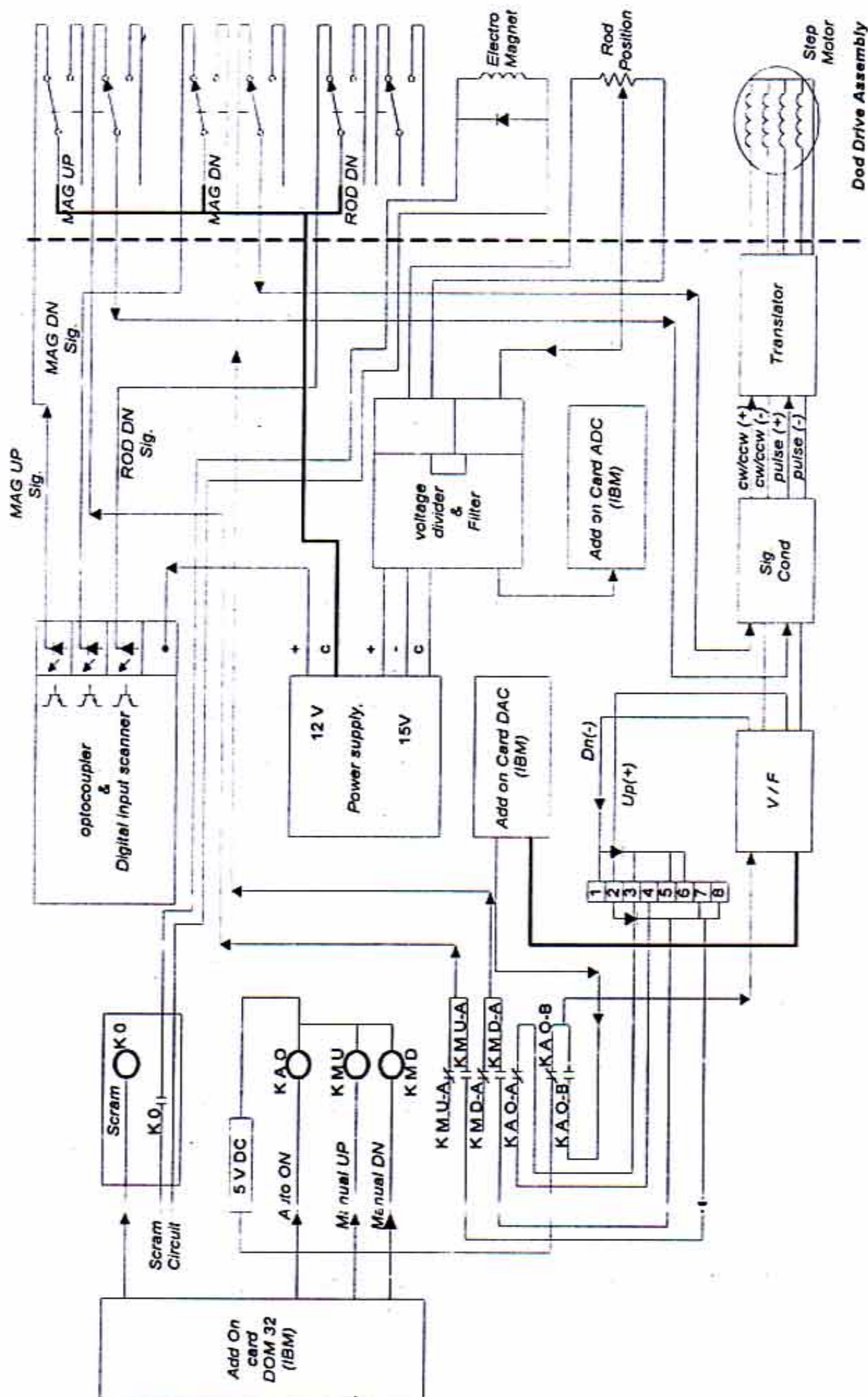
Rangkaian naik turun penggerak batang kendali

Rangkaian ini dibentuk sebagai rangkaian logik yang mendapat masukan dari tombol penaik dan penurun batang kendali yang terpasang pada panel kontrol dan memberikan luaran logik untuk menggerakkan relai yang bersangkutan pada rangkaian penggerak batang kendali (*relay actuation*) untuk masing-masing batang kendali. Rangkaian ini dirancang untuk memberikan fungsi *interlock* bila terjadi penekanan tombol naik lebih dari satu, sedangkan rangkaian untuk penurun batang kendali mempunyai prioritas utama artinya bila terjadi penekanan tombol naik dan turun secara bersamaan untuk satu batang kendali maka yang diaktifkan adalah gerakan penurunan batang kendali. Rangkaian ini juga memungkinkan untuk penurunan semua batang kendali secara bersamaan melalui penekanan tombol turun batang kendali.

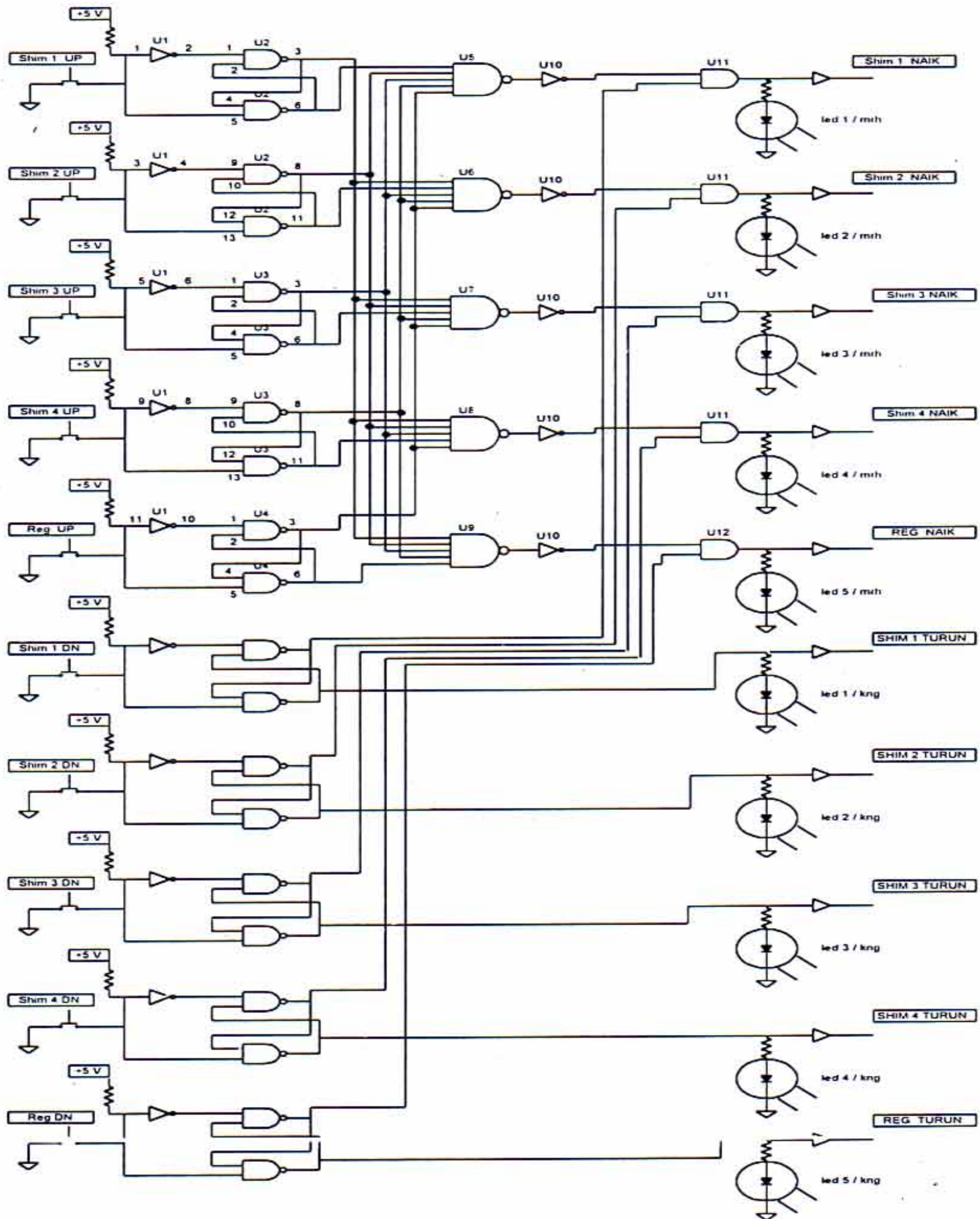
Rangkaian ini dibentuk melalui penggunaan beberapa gerbang logik TTL yang mampu menggerakkan rangkaian relai selanjutnya. Untuk memudahkan pengamatan dalam melakukan *troubleshooting*, rangkaian ini dilengkapi dengan lampu *led* yang terpasang pada masing masing luaran dari sinyal gerak naik dan turun dari semua batang kendali. Gambar 6 memperlihatkan rangkaian logik yang dibuat untuk merealisasikan gerak motor penaik/penurun batang kendali.

Rangkaian pengaktif/non-aktif elektromagnet

Pada Gambar 4b, terlihat bahwa *electromagnet* pembawa masing-masing batang kendali selain bergantung pada semua komponen pendukung lingkaran arus magnet, juga tergantung pada masing-masing relai *scram* dari *Shim 1*, *Shim 2*, *Shim 3*, *Shim 4* dan *Shim 5*. Oleh karena itu untuk menjatuhkan batang kendali secara individu, dapat dilakukan dengan menon-aktifkan (*deenergize*) masing-masing relai *scram* yang bersangkutan melalui penekanan tombol masing-masing pada panel kontrol.



Gambar 5. Skema rangkaian penggerak batang kendali



Gambar 7. Rangkaian logik untuk naik turun batang kendali

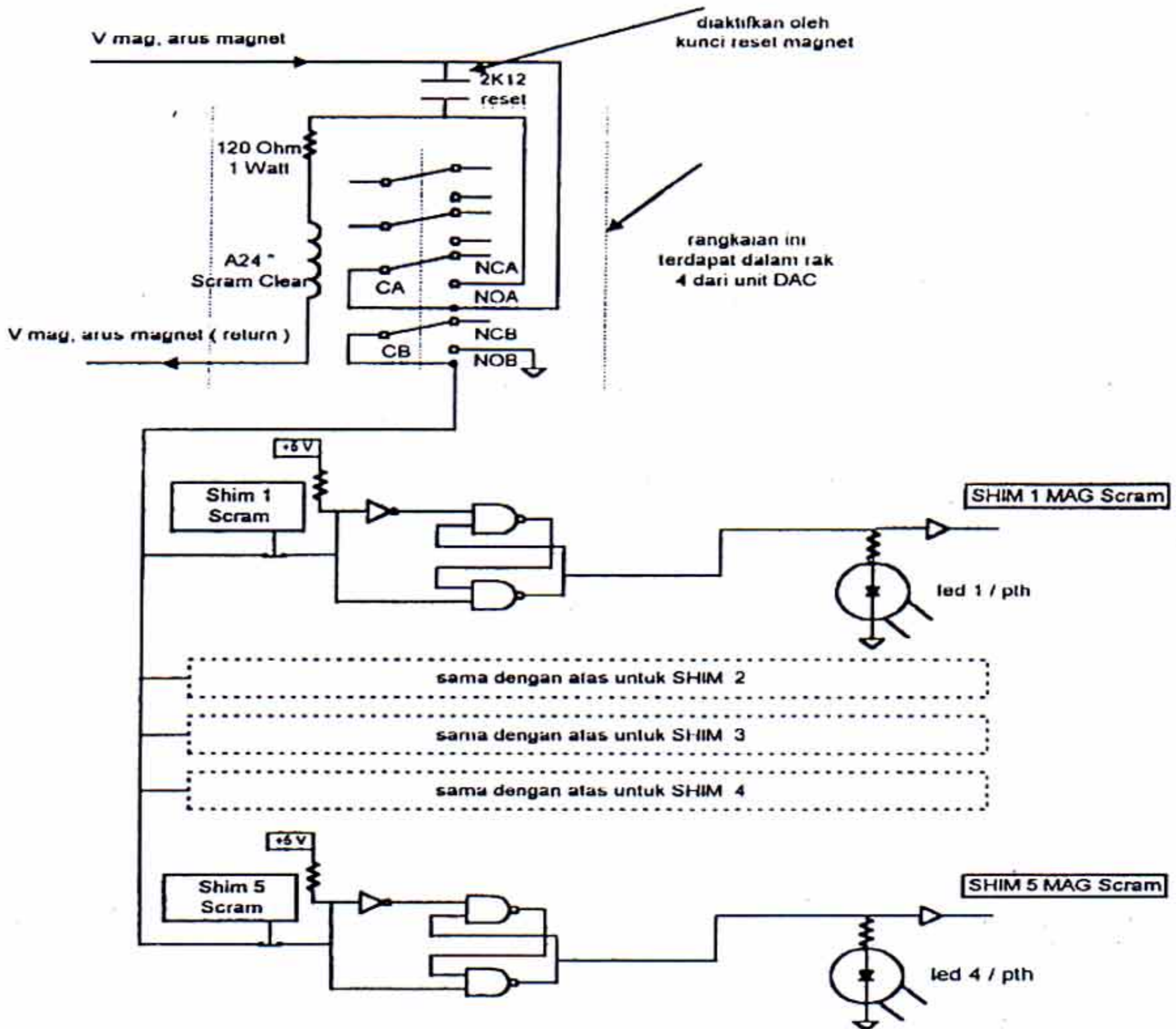
Gambar 8 memperlihatkan rangkaian logik untuk mengaktif/non-aktifkan relai *scram* dari masing-masing batang kendali.

Rangkaian deteksi posisi ekstrim batang kendali dan magnet

Rangkaian ini dibentuk untuk mendeteksi posisi ekstrim batang kendali apakah berada pada posisi teratas atau terbawah. Ada 3 macam pendeteksian yaitu posisi terbawah dan teratas dari *electromagnet* pembawa batang kendali dan posisi terbawah dari batang kendali. Pendeteksian ini berguna bagi operator untuk mengetahui posisi batang kendali dengan pengaktifan nyala lampu yang disediakan untuk indikator masing masing batang kendali. Pendeteksian ini dilakukan dengan mendeteksi status dari *microswitch* yang diaktifkan oleh gerak pembawa batang kendali. Gambar 9 memperlihatkan rangkaian pendeteksi dari status *microswitch* untuk *DN Magnet* yang berada pada *rod assembly*. Rangkaian yang mirip juga dilakukan untuk mendeteksi *UP Magnet* dan *DN Rod*. Pada gambar terlihat pendeteksian dari status *microswitch* dilakukan melalui kopling optik, hal ini dimaksudkan untuk menghindari interaksi langsung antara rangkaian yang dideteksi (*microswitch*) dengan rangkaian yang mendeteksi.

KESIMPULAN

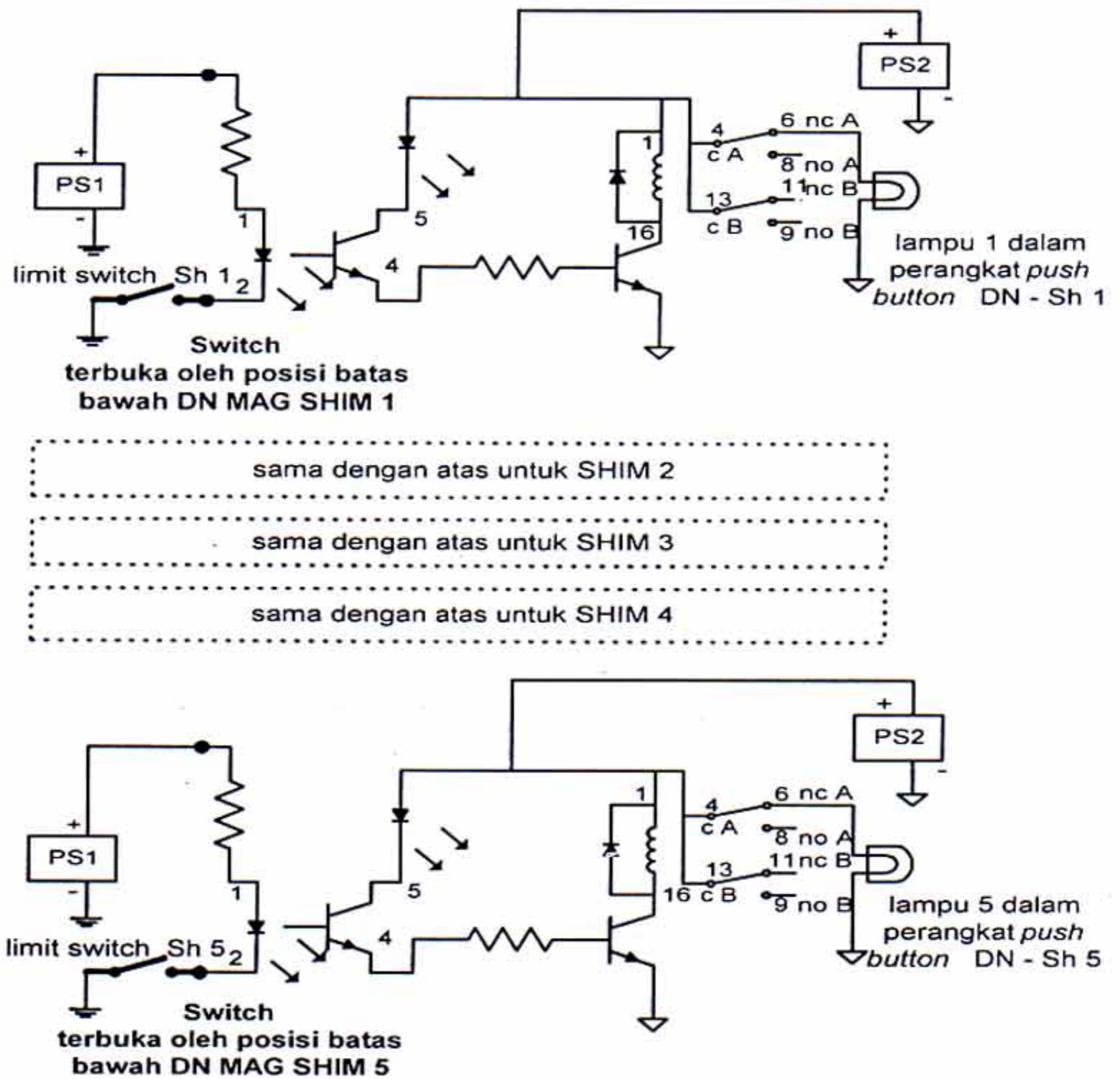
Realisasi rancangan modifikasi telah diuji coba dan dilakukan komisioning menurut prosedur yang diterapkan oleh BAPETEN, hasilnya dapat diterima. Jenis pengujian yang dilakukan di antaranya adalah pengaturan gerak naik turun batang kendali sebagai pengatur daya reaktor, pengujian sistem *interlock* untuk penggerak batang kendali dan pengujian sistem keselamatan melalui sistem *scram*. Modifikasi ini merupakan tahap pertama dari rancangan keseluruhan Sistem Instrumentasi dan Kendali dengan tujuan membentuk sistem instrumentasi kendali Reaktor TRIGA 2000 yang berbasis mikrokomputer.



Catatan:

1. Pengaktifan magnet individu dalam keadaan normal dimulai dengan pengaktifan kunci *reset magnet*
2. *Scram* individu dilakukan dengan menekan tombol *scram* yang bersangkutan
3. *Scram* simultan yang terjadi pada *scram loop*, akan dipulihkan kembali oleh kunci *reset magnet*, setelah menghilangkan semua penyebab *scram* pada jalur *scram loop*

Gambar 8. Rangkaian logik untuk mengaktif/non-aktifkan relai *scram* individu



Catatan: Pada posisi *in between* status semua *limit switch* tertutup

Gambar 9. Rangkaian pendeteksi posisi ekstrim *electromagnet*