

ANALISIS EKSENTRISITAS BANTALAN UNTUK POROS DALAM SISTEM TURBIN GAS

Oleh

Sri Sudadiyo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS EKSENTRISITAS BANTALAN UNTUK POROS DALAM SISTEM TURBIN GAS. Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe Reaktor Garam Cair (*Molten Salt Reactor / MSR*) dinilai baik dalam keselamatan untuk alat pembangkit listrik karena mempunyai dua siklus pendinginan yaitu pendingin primer dan pendingin sekunder. Sistem pendingin sekunder dari MSR ini menggunakan siklus tertutup turbin helium dimana temperatur masuk masuk turbin 973K dan tekanan 0,5 MPa. Sebagian besar kerja yang dihasilkan turbin dimanfaatkan untuk memutar kompresor yang terletak pada poros yang sama dengan turbin. Poros tersebut didukung oleh bantalan sehingga eksentrisitas dari bantalan harus diketahui agar tidak terjadi gesekan antara poros dan bantalan. Dari hasil perhitungan diperoleh angka dari faktor eksentrisitas sebesar 0,61 sehingga siklus tertutup turbin helium ini layak diaplikasikan dalam instalasi MSR.

Kata kunci: Poros, bantalan, eksentrisitas

ABSTRACT

ANALYSIS ON BEARING ECCENTRICITY FOR THE SHAFT WITHIN GAS TURBINE CYCLE. The concept for Nuclear Power Plant (NPP) of Molten Salt Reactor (MSR) type is considered good in safety for electricity generation device because it has two cooling cycles namely primary coolant and secondary coolant. Secondary coolant of this MSR is using the closed cycle of helium in which turbine inlet temperature of 973 K and pressure of 0.5 MPa. Most of the work produced by the turbine was used to rotate the compressor which is located on the same shaft with the turbine. That shaft was supported by bearings so that eccentricity of the bearings must be known in order to avoid friction between the shaft and bearings. From the calculation results, it was obtained the eccentricity factor of 0,61 so that this helium turbine closed cycle is properly be applied for MSR installation.

Keywords: Shaft, bearing, eccentricity

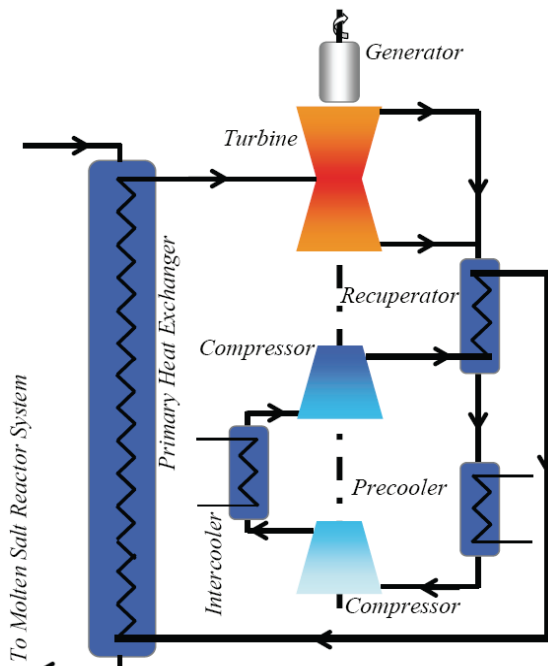
PENDAHULUAN

Konsep Reaktor Garam Cair (*Molten Salt Reactor / MSR*)^[1] yang menggunakan siklus tertutup turbin gas sebagai sistem pendingin sekunder mempunyai komponen utama terdiri dari turbin, kompresor, dan alat penukar kalor seperti *recuperator*, *pre-cooler*, dan *intercooler*, dengan media kerja yang digunakan adalah gas helium. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe MSR ini merupakan salah satu jenis teknologi reaktor nuklir generasi lanjut atau yang lebih dikenal dengan generasi IV mampu menghasilkan daya listrik keluaran hingga 1000 MWe. Instalasi MSR mempunyai dua sistem pendinginan yaitu sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Pada sistem pendingin primer MSR, bahan bakar *uranium fluoride* dan *natrium* cair disirkulasikan melalui kanal-kanal struktur teras dengan inti grafit untuk memproduksi neutron termal. Keseluruhan inti reaktor dirancang dari bahan bukan logam terutama grafit, sehingga temperatur yang sangat tinggi sekalipun dapat diterima dalam sistem ini. Jumlah grafit yang besar

di dalam MSR memiliki kapasitas panas sangat tinggi sehingga dapat menyerap semua energi panas dari produk fisi tanpa menimbulkan masalah terjadinya pelelehan inti. Selanjutnya bahan bakar *uranium fluoride* disirkulasikan melalui sebuah alat penukar kalor intermediet (*Intermediate Heat Exchanger / IHX*) dan kemudian dipompakan kembali ke teras reaktor. Dalam IHX, panas yang dihasilkan dari bahan bakar cair diserap oleh pendingin garam *natrium* cair. Garam cair panas yang diperoleh dialirkan melalui alat penukar kalor (*Heat Exchanger / HX*) untuk selanjutnya dipompakan kedalam IHX lagi. Dalam HX, panas dari pendingin garam cair ditransfer ke helium dalam siklus tertutup turbin gas helium.

Pada sistem pendingin sekunder MSR, seperti ditunjukkan pada Gambar 1^[2], untuk proses yang dianggap ideal maka proses dalam kompresor dan proses dalam turbin dianggap isentropik yaitu tidak ada kerugian panas karena entropi tidak berubah akibat gesekan sehingga efisiensi termal yang dihasilkan akan meningkat sesuai dengan kenaikan perbandingan tekanan. Dalam sistem pendingin sekunder ini, kompresor dan turbin diletakkan pada satu poros dimana sebagian besar

kerja yang dihasilkan turbin dipakai untuk menggerakkan kompresor. Studi tentang siklus tertutup turbin gas helium pada sistem pendingin sekunder untuk PLTN jenis MSR ini perlu dilakukan, agar proses pendinginan dapat beroperasi dengan aman maka poros *rotor* turbin dan *impeller* kompresor harus diletakkan pada posisi yang tepat dengan tidak ada kemiringan diantara bantalan (*bearing*) dan poros atau dengan kata lain ketidaksenteran bantalan harus bernilai sekecil mungkin agar poros dan bantalan tidak saling bergesekan sehingga tidak terjadi getaran akibat putaran poros yang tinggi. Ketidaksenteran ini ditunjukkan dengan faktor eksentrisitas (*eccentricity factor*).



Gambar 1. Instalasi Siklus Pendingin Sekunder PLTN tipe MSR^[2]

METODOLOGI

Gambar 2^[3] memperlihatkan distribusi tekanan pelumas yang terjadi di sekeliling bantalan dengan sudut kontak 180° dengan putaran 3600 rpm. Tekanan dalam bantalan terjadi akibat adanya sebuah pergerakan relatif terhadap permukaan yang menekan cairan melalui celah. Perhitungan distribusi tekanan melalui celah sempit pada bantalan tersebut dapat diekspresikan dengan persamaan berikut :

$$p(x) = 6 \frac{(h^* - 1)}{(h^* + 1)} \left[\frac{x(1-x)}{(h^* - (h^* - 1)x)^2} \right] \quad (1)$$

dimana :

- $p(x)$: distribusi tekanan
- h : ketebalan lapisan *film* pelumas
- x : posisi searah sumbu x ($0 \leq x \leq 1$)

Faktor eksentrisitas dapat diperoleh dari persamaan dibawah :

$$\epsilon = 1 - \frac{h_o}{c} \quad (2)$$

dimana :

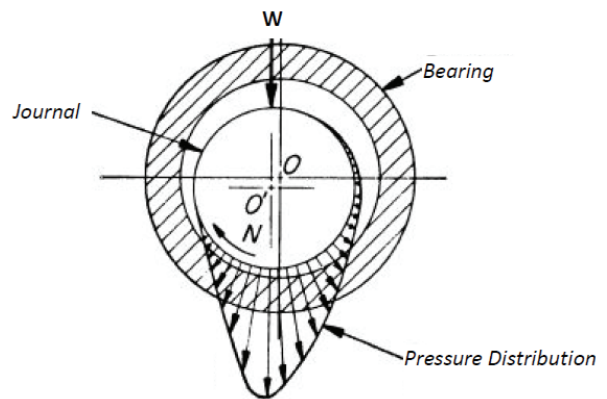
- ϵ : faktor eksentrisitas yang menunjukkan ketidaksenteran poros
- h_o : ketebalan lapisan *film* pelumas
- x : posisi searah sumbu x ($0 \leq x \leq 1$)

Harga kenaikan temperatur dapat dihitung persamaan sebagai berikut :

$$\Delta T = \frac{P T_{var}}{\gamma C_H} \quad (3)$$

dimana :

- ΔT : kenaikan temperatur
- P : proyeksi beban
- T_{var} : variasi kenaikan temperatur
- γ : berat jenis pelumas
- C_H : panas jenis pelumas



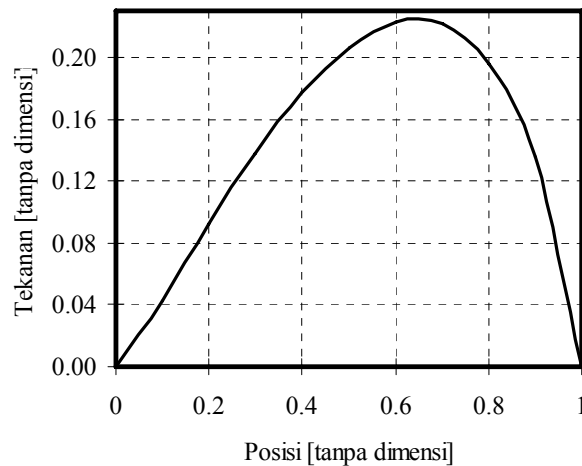
Gambar 2. Distribusi tekanan dalam sebuah bantalan^[3]

HASIL DAN DISKUSI

Seperti terlihat pada Gambar 1^[2], konfigurasi siklus tertutup turbin gas helium pada sistem PLTN jenis MSR ini menggunakan poros tunggal dengan posisi vertikal dimana turbin, kompresor, dan generator listrik diletakkan. Dalam HX, temperatur helium dapat mencapai 973 K dengan tekanan 0,5 MPa. Helium panas ini diekspansikan kedalam turbin untuk memproduksi kerja poros yang dapat dipakai untuk memutar kompresor dan generator listrik. Kerja poros turbin per satuan waktu per satuan massa helium dihitung berdasarkan beda entalpi dari kondisi masuk dan kondisi keluar. Efisiensi termal siklus tertutup turbin helium diperoleh dari selisih antara kerja turbin dan kerja kompresor dibagi dengan jumlah panas yang diberikan dan dikalikan 100%. Poros ini ditumpu oleh bantalan jenis *journal* yang mempunyai putaran 3600 rpm yang dihasilkan oleh turbin. Semakin baik unjuk kerja bantalan, semakin baik kerja yang dihasilkan turbin, dan semakin tinggi efisiensi termal siklus keseluruhan. Unjuk kerja bantalan ditentukan dengan mengetahui distribusi tekanan pada lapisan *film* pelumas yang terjadi akibat menerima beban sehingga ketidaksenteran atau eksentrisitas antara poros dan bantalan dapat dihitung. Gambar 3 memperlihatkan hasil perhitungan dengan mengaplikasikan persamaan (1) untuk mendapatkan distribusi tekanan lapisan *film* pelumas dalam celah sempit bantalan. Dari Gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa perbandingan tekanan sebesar 0,22 terjadi pada rasio posisi 0,65. Dengan diketahuinya penyebaran tekanan dalam celah bantalan ini, selanjutnya dapat dianalisis lebih lanjut tingkat kelayakan dari berbagai komponen utama dalam siklus pendingin sekunder termasuk unjuk kerja turbin dan unjuk kerja kompresor. Apabila bantalan ini dapat bekerja dengan stabil dan tidak bergetar, maka dapat diprediksi bahwa turbin dan kompresor juga akan beroperasi dengan baik sehingga siklus pendinginan, termasuk sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder, dalam instalasi PLTN tipe MSR dapat berlangsung dengan aman.

Diskusi diatas dapat juga memberikan gambaran bahwa apabila distribusi tekanan oleh beban tidak merata maka akan menyebabkan sumbu poros dan sumbu bantalan akan tidak konsentris / tidak senter. Ketidaksenteran sumbu ini harus mendapatkan perhatian khusus karena hal ini menyebabkan poros dan bantalan akan saling bergesekan. Adanya aliran lapisan pelumas yang keluar dari ujung bantalan akan dapat menyebabkan berkurangnya tekanan pelumas sepanjang bantalan yang berarti menurunkan daya dukung pelumas. Peningkatan dalam perbandingan tekanan kompresor dapat menaikkan efisiensi termal siklus

tertutup turbin helium dan dapat juga meningkatkan suhu keluar kompresor. Jika temperatur masuk turbin tetap karena dibatasi oleh kondisi material, kenaikan rasio tekanan kompresor dapat menurunkan kerja spesifik siklus sehingga membutuhkan aliran gas helium yang lebih banyak untuk dapat menghasilkan kerja keluaran per satuan waktu dengan nilai yang sama. Apabila kompresor bekerja pada beda tekanan yang lebih besar akan dapat menurunkan efisiensi adiabatik proses sehingga dapat membuat siklus aktual menjadi kurang efisien. Siklus tertutup turbin helium dengan temperatur tinggi dalam instalasi PLTN tipe MSR dapat memberikan keuntungan dalam perbaikan efisiensi termal dari sistem secara keseluruhan dengan menganggap bahwa proses melalui alat penukar kalor termasuk *recuperator*, *pre-cooler*, *intercooler* tidak mengalami penurunan tekanan.



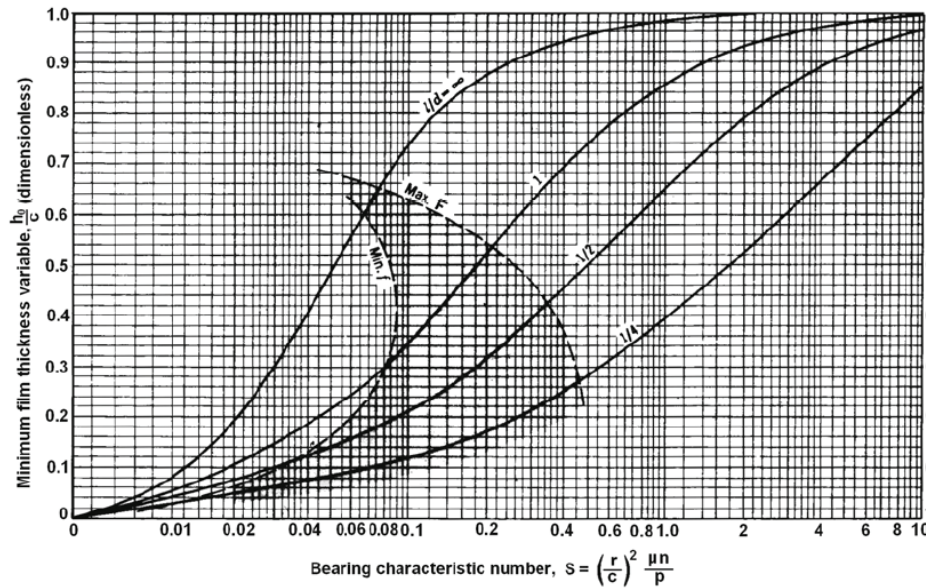
Gambar 3. Kurva penyebaran perbandingan tekanan

Gambar 4 memperlihatkan kurva dari ketebalan lapisan film pelumas dengan variasi dari perbandingan panjang dan diameter bantalan. Rasio panjang dan diameter bantalan merupakan yang sangat penting untuk menghindari terjadinya kontak langsung antara bantalan dan poros yang akan berakibat terjadinya getaran pada poros turbin. Angka Sommerfeld (S) digunakan untuk mengetahui karakteristik bantalan dan dalam penelitian ini diperoleh sebesar 0,12. Dengan mengeplot angka S ini pada Gambar 4, maka akan diperoleh harga perbandingan ketebalan *film* lapisan pelumas minimum terhadap *radial clearance* (h_0/c) dan diperoleh harga sekitar 0,39. Faktor ketidaklurusan atau ketidaksenteran (ϵ) dapat diketahui dengan memakai persamaan (2) dan diperoleh harga sebesar 0,61. Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa bantalan dan poros masih

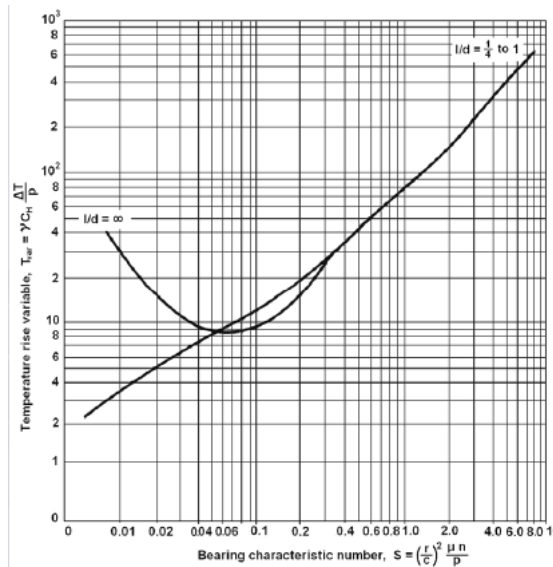
mempunyai jarak sehingga tidak terjadi gesekan diantara keduanya.

Selama bekerja, bantalan akan melepaskan panas ke sekeliling dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam menentukan kesetimbangan panas ini maka biasanya dianggap panas yang diproduksi sama dengan panas yang dilepaskan. Panas rata-rata pada lapisan film pelumas biasanya diinginkan pada temperatur sekitar 70°C. Apabila temperatur sampai melebihi 90°C, maka akan berbahaya dan berakibat buruk baik bagi pelumas maupun bagi material bantalan. Untuk mengatasi hal ini, biasanya diperlukan

sistem pelumasan tekan agar pelumas dapat bersirkulasi sehingga terjadi perpindahan panas. Gambar 5 mengilustrasikan grafik dari sebuah bantalan yang bekerja dengan variasi kenaikan temperatur (T_{var}). Dari Gambar 5 tersebut dapat diperoleh harga T_{var} sekitar 10 untuk karakteristik bantalan sebesar 0,12. Kenaikan temperatur dapat dihitung dengan menerapkan persamaan (3) diatas dan diperoleh hasil kira-kira 5,5°C sehingga temperatur lapisan *film* pelumas menjadi 52,7°C yang berarti masih dibawah harga yang dipersyaratkan.



Gambar 4. Grafik ketebalan lapisan *film* pelumas minimum^[4]



Gambar 5. Kurva untuk variabel temperatur^[4]

KESIMPULAN

Studi tentang ketidaksenteran atau eksentrisitas bantalan untuk pendukung poros turbin helium dan kompresor pada sistem pendingin sekunder dalam instalasi PLTN tipe MSR telah didiskusikan. Pada kondisi kerja dengan temperatur masuk turbin 973 K diperoleh hasil penyebaran tekanan pada lapisan film pelumas dalam celah sempit bantalan pendukung poros tunggal sehingga kerja yang diproduksi turbin dapat langsung digunakan untuk memutar kompresor. Dari hasil diskusi diatas juga dapat ditarik kesimpulan bahwa bantalan sebagai pendukung poros dapat bekerja dengan aman yang ditunjukkan dengan faktor eksentrisitas sebesar 0,61 dengan temperatur pelumas naik mencapai 52,7°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

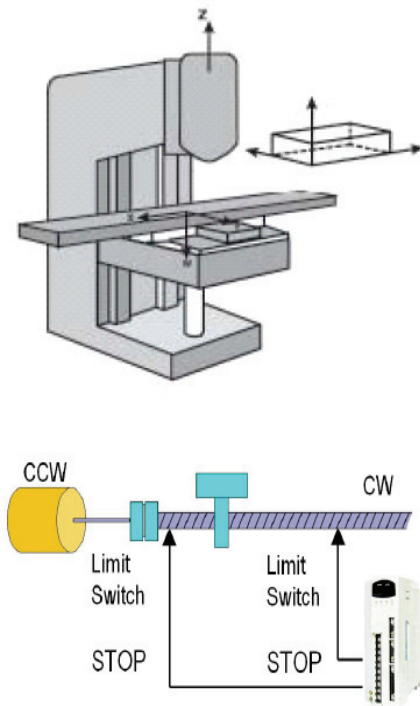
Kegiatan Penelitian ini merupakan bagian kerja di Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) tahun 2010. Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ABRAMS, B., "A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum", (http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen_iv_roadmap.pdf), 2002.
2. SUDADIYO, S., "Pemodelan Poros dan Bantalan Sistem Turbin Gas Pada Reaktor Garam Cair Menggunakan Metode Elemen Hingga", Majalah Ilmiah Sigma Epsilon, Vol.13, No.2, ISSN: 0853-9103, PTRKN - BATAN, Mei 2007.
3. BOYCE, MP., "Gas Turbine Engineering Handbook", Edisi kedua, Butterworth-Heinemann, 2002.
4. RAIMONDI, AA., BOYD, J., "A Solution for the Finite Journal Bearing and its Application to Analysis and Design", Vol. I, II, III, Pergamon, New York.

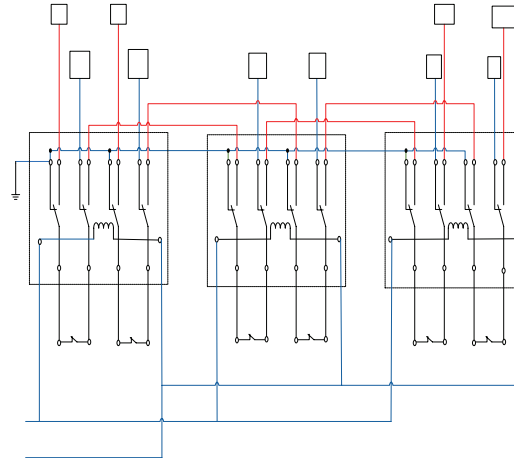
HASIL DAN DISKUSI

Setiap sumbu x , y , z , dipasang dua *limit switch* pada posisi plus dan posisi minus mesin fris seperti terlihat pada Gambar 5. *Limit switch* berfungsi jika pergerakan bagian dari motor di luar daerah yang diizinkan, guna mencegah mesin dari kerusakan dengan menghentikan rotasi motor^[1]. Setiap gerakan meja kerja mesin yang mengakibatkan perubahan posisi pahat sesuai dengan keinginan atau mampu dikontrol oleh unit pengontrol mesin.



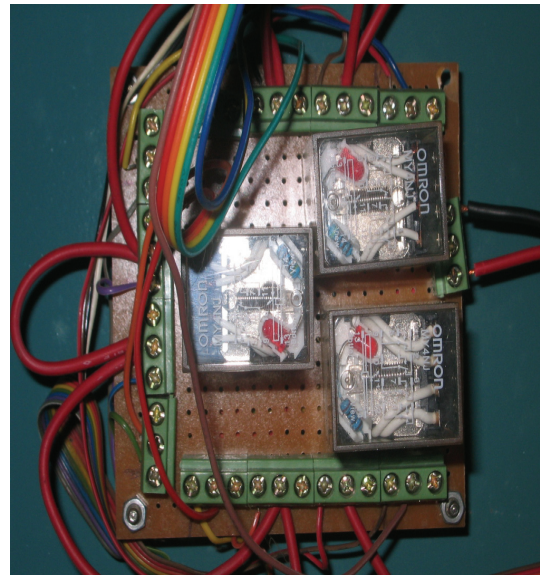
Gambar 5. Posisi *limit switch* pada mesin fris

Gambar 6 menunjukkan pengembangan diagram dengan penambahan *relay* pada setiap sumbu x , y , z . Fungsi *relay* disini untuk merubah aliran listrik yang masuk pada inputan mesin fris sehingga *limit switch* mampu bekerja pada posisi yang diinginkan. Simbol pada Gambar 6 memperlihatkan diagram posisi x , $-x$, y , $-y$, z , $-z$ yang digunakan untuk saluran mesin dalam kondisi otomatis, karena setiap sumbu x, y, z terhubung pada *port* masing-masing sedangkan pada posisi manual sumbu x , y , z dan $-x$, $-y$, $-z$ saling tersambung menjadi satu menjadi saluran untuk masukan dan keluaran pada kondisi manual.



Gambar 6. Pengembangan diagram *limit switch*

Foto rangkaian *limit switch* dari dapat pada Gambar 7. Komponen ditempatkan pada tempat yang sesuai dan melubangi apabila komponen membutuhkan lubang untuk pemasangan baut. *Relay* dipasang pada *Printed Circuit Board* (PCB) dan disolder kemudian disekrup pada panel. Setelah modul *relay* terpasang kemudian setiap terminal dihubungkan dengan kabel pada tempat yang telah tersedia. Kabel untuk *power* dipisah dengan kabel data. Hal ini dilakukan untuk mengurangi *noise* pada kabel *power* yang dapat mengacaukan data mesin fris.



Gambar 7. Foto rangkaian *limit switch*

KESIMPULAN

Telah dilakukan pembuatan modul PCB pengubah arah *limit switch* pada mesin fris. Modul ini merupakan pengembangan mesin fris yang manual menjadi mesin otomatis. Penyetelan mesin secara manual diperlukan untuk penggunaan sewaktu-waktu apabila diperlukan oleh operator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Redaksi Majalah Ilmiah Sigma Epsilon yang telah membantu dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. WIBOWO, S, "*Merakit Sendiri 9 Rangkaian Alat Elektronika*", Penerbit Tiga Dua, Surabaya, 1996.
2. ZUHAL, "*Dasar Tenaga Listrik*", Bandung, ITB, 1982.
3. SUMANTO, "*Mesin Sinkron, Generator Sinkron dan Motor Sinkron*", Yokyakarta.