

ANALISIS KERUSAKAN MESIN LAS TUTUP KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR ME-27: KELISTRIKAN

ACHMAD SUNTORO

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis kerusakan mesin las tutup kelongsong bahan bakar nuklir ME-27 dari sudut pandang kelistrikannya. Mesin las ini menggunakan teknik *magnetic force resistance welding*. Terjadi arus hubung singkat di dalam mesin tersebut sebagai akibat dari patahnya baut pengencang sambungan kabel transformator pengelasan bertegangan tinggi, sehingga kabel bertegangan tersebut terlepas dan jatuh mengenai body mesin dan terjadi arus hubung singkat. Kondisi ini menyebabkan *circuit breaker* utama di gedung jatuh dan membangkitkan tegangan pulsa induksi yang tinggi ke sistem elektronik mesin, sehingga satu komponen elektronik mesin menjadi rusak. Kejadian ini merupakan peringatan tentang pentingnya pengencangan baut sesuai dengan kekuatannya (penggunaan kunci momen) dan perlunya rangkaian pembatas *transient* tegangan. Dua peringatan ini perlu pada peralatan yang menggunakan sumber daya listrik berorientasi kerja arus tinggi seperti pada mesin las ME-27.

ABSTRACT

It has been analysed a defective of the machine for a cap-tube nuclear fuel element ME-27 from its electricity point of view. The machine uses magnetic force resistance welding technique. A short circuit was happened within the machine because the nut for tightening high voltage cable for welding transformer was broken so that the cable touched the machine body and produced the short circuit. This condition made both the primary circuit breaker in the building down and produced high voltage pulse induction to the electronic circuit within the machine so that one of its electronic components was defective. This case becomes warnings on how important of tightening a nut according to its strength specification (using wrench torque) and the necessity of voltage transient limitation circuit to be installed. Both of the warnings are necessary for any equipment consuming high electric current oriented such as the ME-27 machine.

Keywords: analisis kerusakan mesin las, arus hubung pendek, induksi pulsa tegangan tinggi.

1. PENDAHULUAN

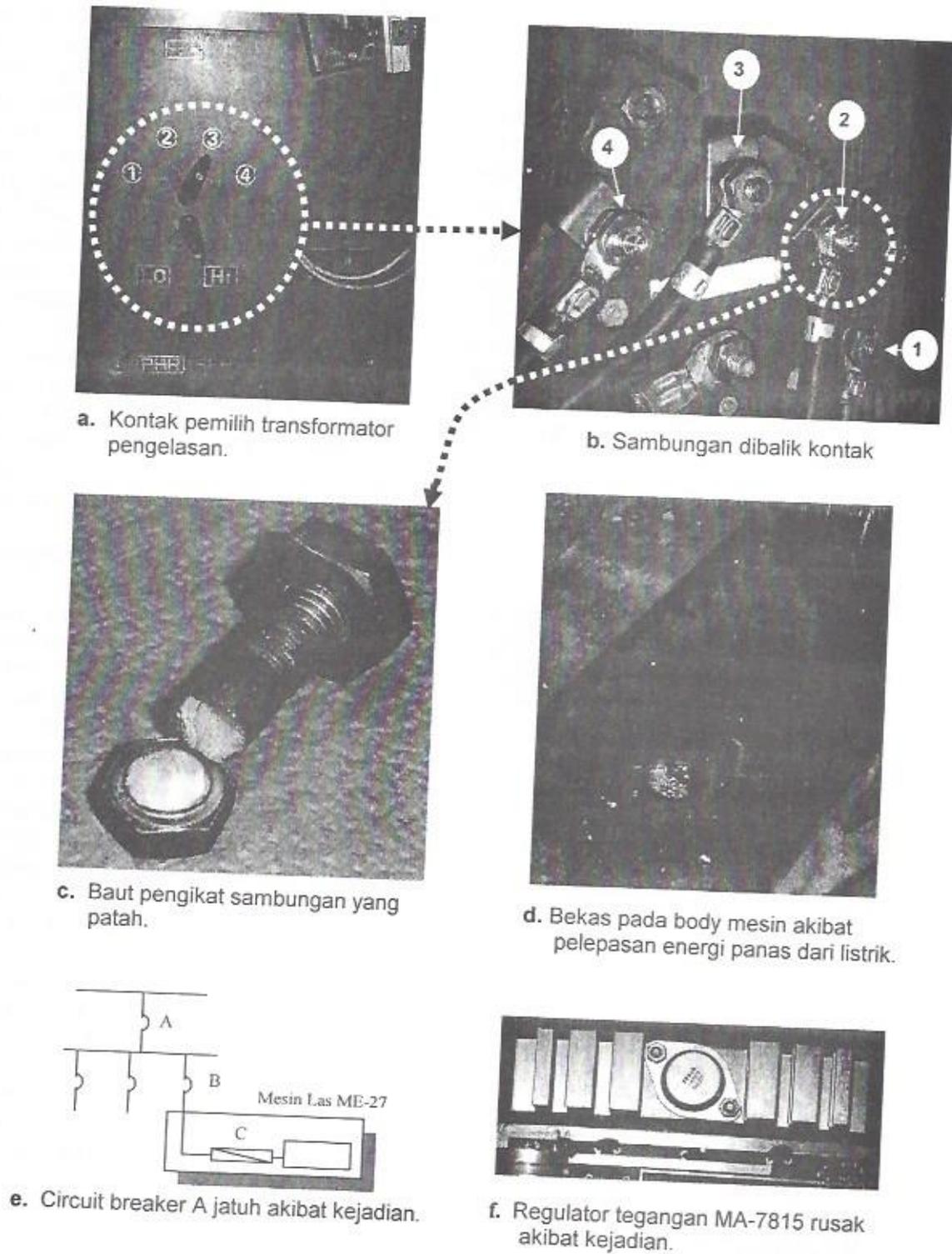
Mesin las tutup kelongsong bahan bakar nuklir ME-27 bekerja berdasarkan teknik *magnetic force resistance welding*. Gaya magnet digunakan untuk menekan tutup dengan kelongsongnya tersebut, serta panas akibat hambatan listrik antara tutup dan kelongsong yang dialiri arus listrik sangat tinggi digunakan untuk proses pengelasannya. Dalam bekerjanya^[1] mesin ini melibatkan kegiatan pengendalian sistem mekanik, pneumatik, kelistrikan dengan tegangan dan arus tinggi, dan power elektronik.

Mesin tersebut mengalami kerusakan, yaitu ketika mesin dihidupkan (dari kondisi istirahat) *circuit breaker* (CB) utama A dalam gedung

(Gambar 1.e) jatuh bersamaan dengan suara percikan bunga api cukup keras dari dalam mesin.

Hasil penelusuran dari kejadian diatas menunjukkan bahwa arus hubung singkat telah terjadi, yaitu akibat patahnya baut kontak-sambungan kabel primer transformator *step-down* pengelasan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.a-d. Akibat kejadian ini, sebuah komponen elektronik dalam mesin tersebut (regulator penurun tegangan DC) Gambar 1.f juga menjadi rusak.

Dalam makalah ini akan dianalisis dua kejadian di dalam mesin las tersebut (patahnya baut dan rusaknya komponen elektronik), dari sudut pandang ilmu kelistrikan.



Gambar 1. Rentetan sebab-akibat rusaknya mesin las ME-27.

2. METODOLOGI

Dua teori dasar yang diperlukan untuk analisis kejadian ini adalah: teori fenomena pengaruh tekanan pada hambatan kontak listrik antara dua

konduktor, dan tegangan pulsa induksi pada rangkaian yang bersifat induktif. Teori pertama untuk kasus patahnya baut pengencang sambungan ke transformator, dan yang kedua untuk

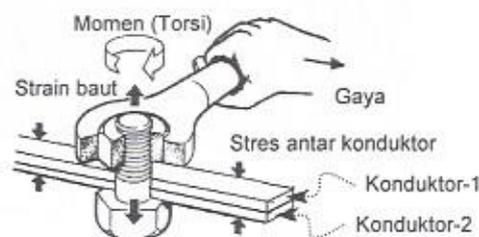
rusaknya komponen elektronik IC regulator tegangan DC.

2.1 FENOMENA DUA KONDUKTOR

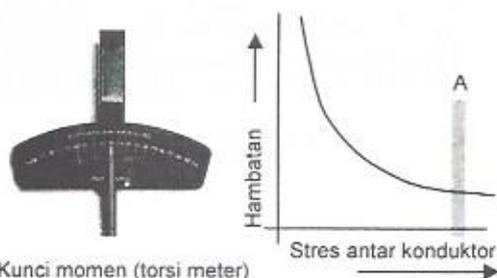
Dua lempeng konduktor logam yang dihubungkan satu sama lain akan bertindak sebagai penghubung arus listrik. Namun demikian hubungan kedua konduktor tersebut akan membentuk hambatan listrik (resistansi) tergantung kekasaran dan tekanan yang diberikan pada keduanya. Hambatan tersebut muncul karena persinggungan antar konduktor tersebut tidak terjadi secara total, tetapi sangat tergantung dari kekasaran kedua konduktor, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.a.



a. Dua konduktor berimpit



b. Stres antar konduktor dengan pengencangan mur-baut



c. Hambatan listrik fungsi tekanan antar konduktor

Gambar 2. Hambatan listrik dua konduktor

Stres diberikan pada dua konduktor tersebut seperti pada

Gambar 2.b dengan mengencangkan mur-baut untuk menambah luas ataupun jumlah titik-hubung kedua konduktor, sehingga hambatan listriknya akan menurun. Secara kualitatif hambatan listrik antar konduktor digambarkan secara grafis dengan fungsi menurun seperti pada Gambar 2.c^[4], dan hambatan tidak lagi secara *significant* menurun setelah *stres* pada daerah A di Gambar 2.c. Kunci momen digunakan untuk mengetahui berapa torsi (momen) yang diberikan pada mur-baut yang di putar atau identik dengan *stres* antar konduktor tersebut. *Stres* ini tidak boleh melebihi *strain* maksimum yang mampu ditahan oleh mur-baut yang digunakan.

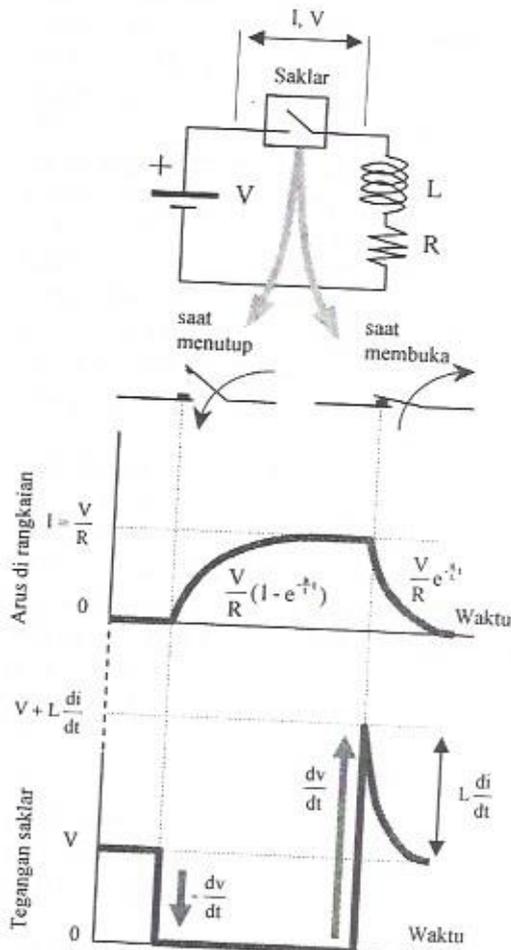
2.2 TEGANGAN INDUKSI PADA RANGKAIAN INDUKTIF

Transformator adalah sebuah induktor yang dibuat sedemikian rupa dan digunakan untuk merubah amplitudo tegangan listrik bolak balik menjadi sesuai dengan yang diinginkan. Oleh karena itu dalam hal tertentu sifat induktor masih tetap melekat pada sebuah transformator.

Sebuah kumparan (induktor) yang dirangkai seperti pada Gambar 3 mempunyai karakteristik sebagai berikut. Ketika saklar ditutup dan kemudian dibuka, maka arus listrik yang mengalir pada rangkaian dan tegangan pada saklar ditunjukkan oleh dua grafik pada Gambar 3^[2]. Terlihat bahwa tegangan pada saklar akan melonjak mendadak yang besarnya tergantung dari besar induktansi kumparan L dan kecepatan penurunan arus $\frac{di}{dt}$ dalam rangkaian ketika saklar dibuka (dari asalnya menutup).

Tegangan lonjakan ini berasal dari induksi medan magnet. Ketika arus mengalir di induktor, maka disekitar induktor akan timbul medan magnet. Ketika saklar dibuka, arus listrik akan menurun demikian juga medan magnet yang ditimbulkannya. Menurunnya medan magnet tersebut (yang berarti ada perubahan medan magnet) akan

menginduksikan tegangan ke induktor sesuai dengan hukum Faraday^[5]. Tegangan induksi inilah merupakan lonjakan tegangan tambahan pada saklar tersebut.

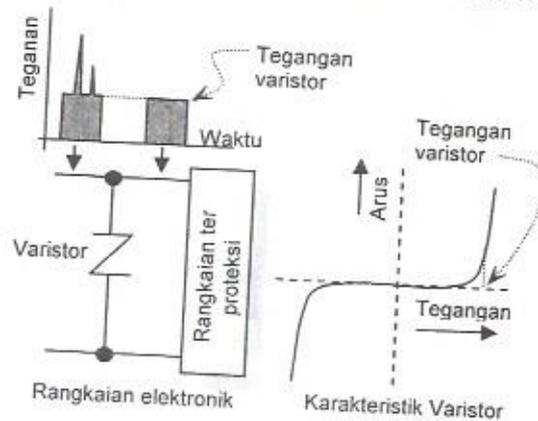


Gambar 3. Induktor dan kontak listrik

Terlihat bahwa untuk induktor bernilai besar dan arus yang mengalir juga besar, akan mengakibatkan lonjakan tegangan pada saklar juga akan sangat besar. Pada kondisi ini sering udara yang bersifat isolator menjadi tembus (*break down*) dan timbullah bunga api karena udara tersebut terbakar akibat aliran arus tembus tersebut. Tegangan induksi ini sangat tinggi tetapi terjadi hanya sesaat, atau berbentuk pulsa. Pulsa tegangan tinggi ini bisa merusak komponen elektronik, oleh karena itu harus dihilangkan sebelum masuk ke rangkaian elektronik.

2.3 VARISTOR

Varistor adalah komponen elektronik yang digunakan untuk alat proteksi rangkaian elektronik dari masuknya pulsa-pulsa tegangan tinggi ke sistem rangkaian melalui jalur catu dayanya^[3]. Tegangan listrik setelah varistor akan bersih dari pulsa-pulsa tersebut karena karakteristik varistor akan menjadi hubung singkat untuk tegangan diatas dari tegangan varistor tersebut seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Cara kerja varistor

Tegangan varistor harus dipilih sedikit diatas tegangan kerja dari rangkaian yang akan diproteksi, sehingga tegangan kerja rangkaian akan diteruskan ke rangkaian sementara tegangan yang terlalu tinggi dan diatas tegangan varistor akan dihubung singkat. Untuk tegangan sama atau lebih kecil dari tegangan varistor, maka varistor bertindak sebagai kapasitor.

3. ANALISIS KERUSAKAN

3.1 BAUT PATAH

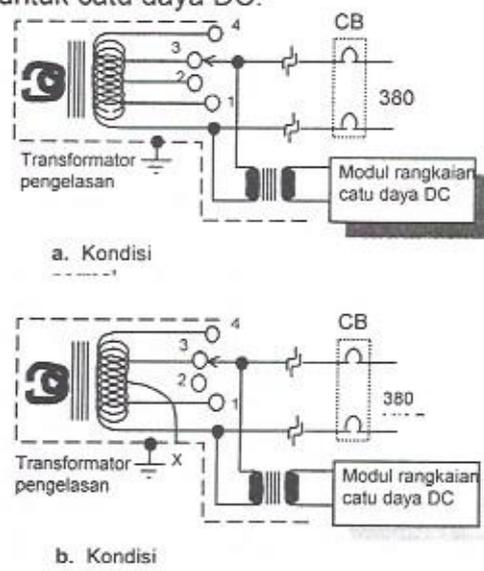
Patahnya baut pengencang sambungan transformator pada mesin las ME-27 bukan dari akibat panas karena arus listrik yang mengalir pada sambungan tersebut. Kesimpulan ini diperoleh dari pengamatan secara visual bahwa tidak ada tanda-tanda panas pada sambungan ke transformator tersebut. Selain itu kerusakan terjadi ketika mesin sedang tidak digunakan untuk mengelas. *Strain*

pada baut yang menyebabkan baut tersebut patah karena telah dikencangkan tidak menggunakan kunci momen sehingga sangat mungkin batas kekuatan *strain* dari baut selama ini terlewati atau di daerah batas maksimumnya.

Baut yang digunakan dari logam kuningan yang mempunyai batas kekuatan *strain* di bawah baut baja yang biasa digunakan pada perlengkapan mekanik umum. Pengencangan baut menggunakan kebiasaan pada baut pada umumnya tanpa menggunakan kunci momen menyebabkan pengencangan kabel tersebut tidak optimal. Pengencangan seharusnya dibuat pada *strain* yang memberikan tekanan pada dua konduktor di daerah A pada Gambar 2.c. Daerah ini bisa jadi masih di bawah batas kekuatan maksimum *strain* dari baut sehingga umur baut dalam pengencangan kabel tersebut akan menjadi lebih lama.

3.2 REGULATOR RUSAK

Posisi modul rangkaian regulator tegangan DC yang rusak akibat lepasnya sambungan kabel ke transformator *step-down* pengelasan ditunjukkan pada Gambar 5. Komponen IC regulator berada di dalam rangkaian modul elektronik untuk catu daya DC.



Gambar 5. Hubung singkat kabel ke

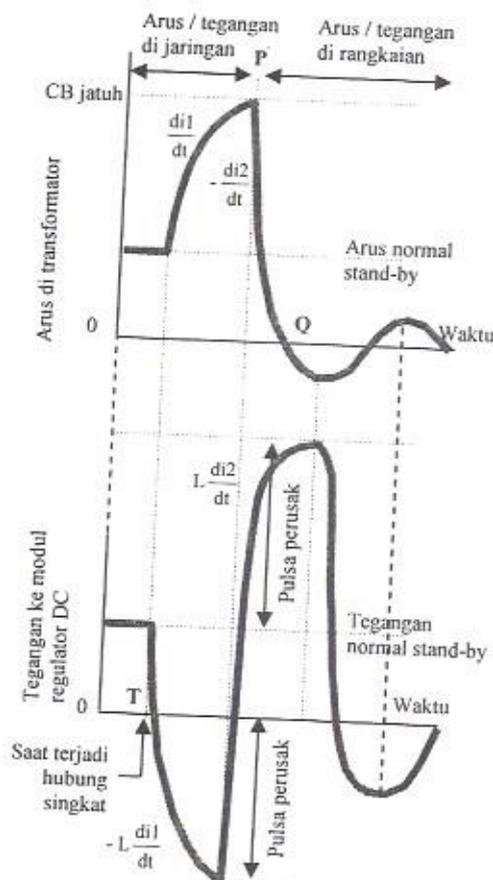
Patahnya baut pengencang kabel kontak no. 2 pada Gambar 5 menyebabkan kabel no. 2 tersebut menyentuh body (x) dari mesin, sehingga transformator menarik arus sangat tinggi ke jaringan PLN dan menyebabkan *circuit breaker* CB jatuh. Transformator adalah sebuah induktor dengan nilai induktansi L yang besar dan arus hubung singkat ke body mesin juga cukup besar sehingga akan menghasilkan medan magnet yang besar pada transformator. Ketika CB jatuh maka tidak ada lagi sumber tegangan yang memberi energi listrik ke transformator, sehingga arus hubung singkat tersebut menjadi nol (identik dengan saklar dibuka pada Gambar 3).

Seperti pada fenomena induktor dan saklar pada Gambar 3, maka titik-titik (1 s/d 4) pada Gambar 5 yaitu kontak pemilih transformator akan terinduksi tegangan yang sangat tinggi berupa pulsa sebagai akibat menurunnya medan magnet kuat akibat arus hubung singkat yang terjadi. Tegangan ini besarnya $-L \frac{di}{dt}$ dimana nilai L adalah induktansi transformator yang sangat besar, dan arus hubung singkat yang tinggi menyebabkan nilai $\frac{di}{dt}$ juga sangat

tinggi. Oleh karena itu pulsa tegangan ini sangat tinggi. Tegangan ini masuk ke rangkaian elektronik catu daya dan merusak komponen regulator MA - 7815 tersebut.

Secara kualitatif grafis, fenomena tegangan dan arus hubung singkat kabel no.2 tersebut digambarkan pada Gambar 6. Saat terjadi hubung singkat di T, arus di transformator akan naik dengan kecepatan $\frac{di}{dt}$ hingga P.

Sebenarnya arus ini bisa lebih tinggi lagi, tetapi karena *Circuit Breaker* CB gedung utama telah jatuh, maka arus di transformator hanya sampai P. Arus ini kemudian turun ke Q dengan laju $-\frac{di_2}{dt}$.



Gambar 6. Fenomena hubung

Pada saat T tersebut, tegangan ke modul regulator menurun karena kabel no.2 menyentuh body mesin dengan arus hubung singkat $\frac{di_1}{dt}$ yang menyebabkan pulsa tegangan negatif dengan besar $-L \frac{di_1}{dt}$. Bersamaan dengan jatuhnya CB dan turunnya arus pada transformator, maka tegangan ke modul regulator tersebut melonjak sebesar $L \frac{di_2}{dt}$. Pulsa-pulsa positif dan negatif inilah yang merusak komponen regulator tersebut.

Grafik di Gambar 6 adalah

penyederhanaan. Sesungguhnya kabel no.2 ketika menempel pada body mesin juga menimbulkan *bouncing*, sehingga grafik menjadi tidak sederhana. Dalam analisis ini dianggap tidak terjadi *bouncing*. Tingginya arus hubung singkat dapat dilihat dari bekas sentuhan kabel no.2 ke body mesin yang menyebabkan cacat permukaan pada body mesin diperlihatkan pada Gambar 1.d.

4. KESIMPULAN

Prosedur kerja harus selalu tetap dijalankan dalam instalasi ataupun penggantian komponen. Pengencangan sambungan untuk kabel yang bekerja berorientasi arus tinggi dan terkait dengan induktor, perlu mendapat perhatian khusus dalam hal kontak sambungannya. Hilangnya arus secara mendadak (dalam rangkaian yang bersifat induktif) jika terjadi di luar prediksi disain alat, maka dapat menimbulkan pulsa tegangan tinggi yang bisa merusak ke komponen lainnya. Penggunaan varistor yang tepat dapat memproteksi gangguan pulsa-pulsa tegangan tinggi yang tidak diinginkan tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada saudara Sugeng Riyanto, Djoko Kisworo, Toto Sudarto, dan Triarjo dari staf Bidang Bahan Bakar Nuklir, Kelompok Proses Konversi dan Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir - PTBN BATAN, yang telah membantu dalam proses pelacakan kerusakan mesin tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SUNTORO A., *Teknik Pelacakan dan Perbaikan Mesin Las Tutup Kelongsong Bahn Bakar Nuklir P2TBDU – BATAN.*, PRIMA., Vol. 3, No. 5., Juni 2006. pp.9 – 15.
- [2]. SMITH R J., *Circuits Devices and Systems.*, A Wiley International Edition., New York., 1971.
- [3]. *Metal Oxide Varistor*, MDE Semiconductor Inc., Datasheet.
- [4]. MCBRIDE JW., *Relationship Between Surface Wear and Contact Resistance During the Fretting of In-Vivo Electrical Contacts.*, *IEEE Transaction Components and Packaging Technologies*, Vol. 31, No. 3, September 2008. pp.592-600.
- [5]. HAYT WH Jr., *Engineering Electromagnetics.*, McGraw-Hill Kogakusha., Tokyo., 1974.