

**REFURBISHING PENGENDALI ARUS LISTRIK PENGELASAN PADA
MESIN LAS RESISTANCE SPOT WELDING ME-25 UNTUK PERAKITAN
KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR PLTN**

Achmad Suntoro
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir- BATAN
Kawasan PUSPIPEK Gd 71, Lt 2 Serpong

ABSTRAK

REFURBISHING PENGENDALI ARUS LISTRIK PENGELASAN PADA MESIN LAS RESISTANCE SPOT WELDING ME-25 UNTUK PERAKITAN KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR PLTN. Mesin las ME-25 adalah jenis resistance spot welding (RSW) yang digunakan untuk perakitan kelongsong bahan bakar nuklir PLTN di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) - BATAN. Pengendali arus dan waktu pengelasan dari mesin tersebut rusak. Disain pabrikan pengatur arus dan waktu pengelasan dari mesin tersebut berbentuk modul elektronik dengan tujuan untuk mempermudah proses perawatan perbaikan jika terjadi kerusakan pada mesin. Namun demikian dalam operasionalnya, tujuan disain tersebut tidak bisa dijalankan karena suku cadang modul tersebut tidak mudah diperoleh di pasaran. Perbaikan modul tidak mungkin dilakukan karena modul didisain untuk tidak diperbaiki, tetapi diganti dengan modul yang baru. Oleh karena itu, teknik refurbishing yaitu membuat rangkaian elektronik sendiri yang berfungsi seperti modul yang rusak tersebut harus dilakukan agar mesin las tersebut tetap dapat berfungsi. Dalam makalah ini, disain, konstruksi dan pengujian atas tindakan refurbishing tersebut dilakukan. Prinsip dasar dari modul tersebut terdiri dari pembangkit pulsa periodik yang dapat diatur sudut fasanya dengan perioda sama dengan perioda listrik yang digunakan (PLN) serta sebuah programmable timer yang digunakan untuk menentukan waktu operasional dari deretan pulsa yang dibangkitkan tersebut. Refurbishing tersebut telah berhasil dilaksanakan, dan dari pengujian yang dilakukan oleh tim jaminan kualitas PTBN, mesin las ME-25 dapat diterima dan layak untuk beroperasi kembali.

Kata kunci : refurbishing, pengendali arus pengelasan, RSW, thyristor, elektronik daya.

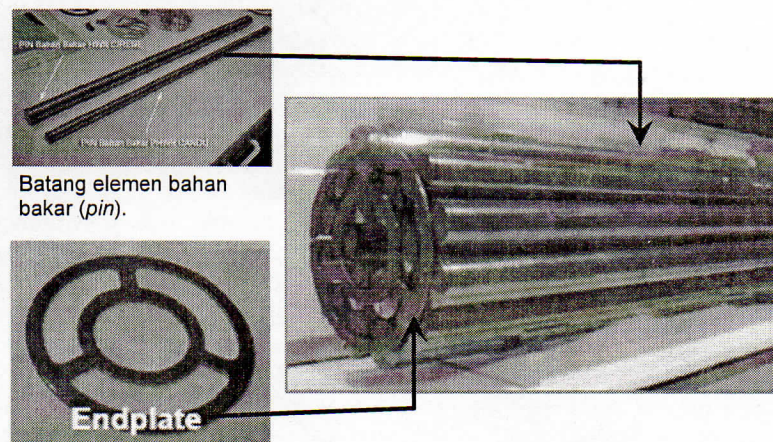
ABSTRACT

REFURBISHING OF ELECTRIC CURRENT CONTROL WELDING OF RESISTANCE SPOT WELDING MACHINE ME-25 FOR NPP's NUCLEAR FUEL CALDDING ASSEMBLY. Welding machine ME-25 is a resistance spot welding (RSW) machine that is used for NPP's nuclear fuel cladding assembly in the Center of Nuclear Fuel Materials Technology (PTBN) - BATAN. The electric current control and its timing process of the welding machine is defective. The manufacturer design of the current control and the timing process of the welding machine is in the form of a modular electronics with the aim to facilitate during any curative maintenance program in case of the machine is malfunction. However, in operational, the design objectives can not be executed because the module part is not readily available in the market. To repair the module is not possible because the module is not designed to be repaired, but replaced with a new one. Therefore a refurbishing technique must be done, that is constructing own design of electronic circuits that function like the faulty module to be replaced so that the welding machine can still work properly. In this paper, the design, construction, and testing of the refurbishing work are performed. The basic principle of the module contains both a periodic pulse-train generator that its phase-angle can be set variably in which the pulse-train period equals to the period of the electricity in use and a programmable timer that is used to determine the time operational of the pulse-train generated. The refurbishing work has been successfully implemented, and from the testing conducted by the quality assurance team of PTBN, the welding machine ME-25 is acceptable and feasible to operate.

Key words: refurbishing, weld current control, RSW, thyristor, power electronics

1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan berkas bahan bakar nuklir dilakukan di laboratorium fabrikasi bahan bakar (FFL – *Fuel Fabrication Laboratory*) Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, PTBN - BATAN. Salah satu urutan dalam proses tersebut adalah perakitan berkas bahan bakar, yaitu kelongsong yang telah diisi dengan pelet UO_2 bersama dengan gas Helium (He) yang membentuk batang elemen bakar (*pin*), dirakit bersama dengan *end-plate* menjadi berkas bahan bakar^[1], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perakitan berkas *pin* dan *end-plate* tersebut dilakukan menggunakan teknik pengelasan *Resistance Spot Welding* (RSW), dan ME-25 adalah mesin pengelasan RSW untuk tujuan tersebut di FFL - PTBN.



Gambar 1. Berkas bahan bakar: batang elemen bahan bakar (*pin*) dan *end-plate*^[1].

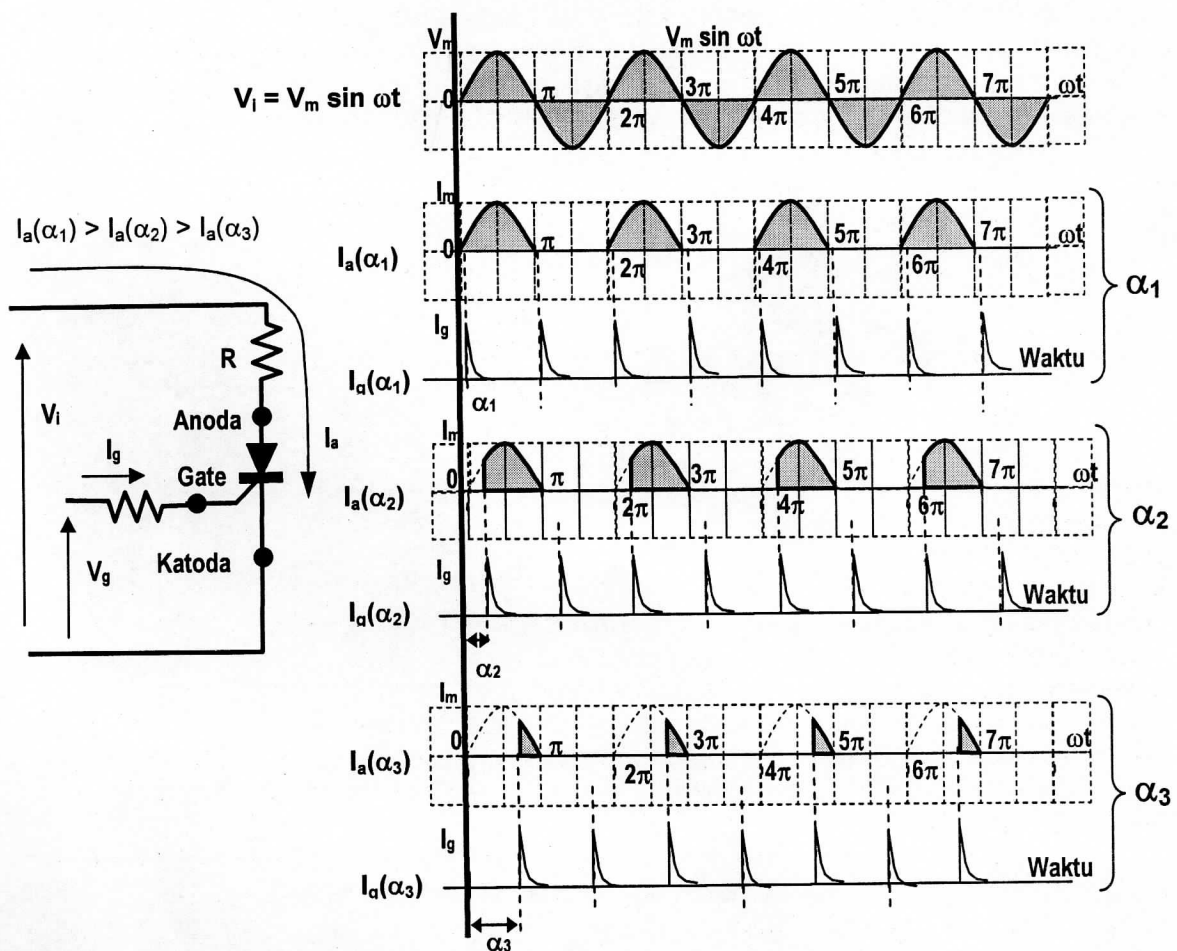
Untuk mendapatkan kualitas pelasan yang baik (memenuhi persyaratan) pada proses RSW, tiga parameter utamanya (gaya tekan, arus listrik, dan waktu pengelasan) harus dikendalikan disesuaikan dengan bahan (materi) dari logam yang akan dilas^[2]. Pengendali arus listrik pada mesin las ME-25 di FFL – PTBN mengalami kerusakan. Rangkaian elektronik pengendali arus tersebut menyatu (*integrated*) dengan rangkaian elektronik lainnya dalam bentuk modul sehingga perbaikan memerlukan penggantian komponen yang harus tepat sama. Kondisi tersebut sulit diperoleh karena modul tersebut adalah buatan dari pabrikan pembuat mesin las itu sendiri sehingga tidak mudah diperoleh di pasaran. Oleh karena itu tindakan *refurbishing* harus dilakukan, yaitu membuat rangkaian elektronik dengan disain sendiri (modul baru) di luar rangkaian elektronik yang lama untuk menggantikan fungsi kerja modul yang telah rusak tersebut.

Dalam makalah ini, proses *refurbishing* pengendalian arus pengelasan pada *resistance spot welding* mesin ME-25 dijelaskan. Tindakan *refurbishing* ini dilakukan disamping untuk memfungsikan kembali mesin ME-25, juga untuk menunjukkan bahwa solusi perangkat yang tidak berfungsi adalah tidak selalu harus dengan mengganti perangkat tersebut secara total jika ada komponen yang rusak dan tidak ada di pasaran. Kreatifitas disain dan kemampuan memahami cara kerja perangkat yang tidak berfungsi secara detil sangat diperlukan dalam proses *refurbishing*, mengingat *refurbishing* serupa dengan proses “cangkok” dalam dunia kedokteran.

2. DASAR TEORI

2.1 THYRISTOR^[3]

Thyristor adalah komponen elektronik dengan karakteristik serupa dengan dioda, tetapi arus dari Anoda ke Katoda-nya (I_a) dapat dikendalikan, yaitu oleh arus Gate (I_g) yang dapat dibangkitkan oleh tegangan Gate (V_g) seperti pada Gambar 2. Arus Anoda hanya dapat mengalir jika tegangan Anoda lebih besar dari tegangan Katoda dan pada saat itu ada arus-Gate dengan nilai minimum tertentu mengalir dari Gate ke Katoda. Jika tidak ada arus-Gate tersebut atau di bawah nilai minimumnya, maka tidak ada arus dari Anoda ke Katoda meskipun tegangan Anoda lebih besar dari tegangan Katoda. Batas arus-Gate minimum tersebut dipengaruhi oleh temperatur P-N junction Gate-Katoda dari thyristor. Keberadaan arus Gate tidak harus kontinyu, dan arus anoda akan tetap mengalir selama tegangan Anoda lebih besar dari tegangan Katoda. Pada saat tegangan Anoda lebih kecil atau sama dengan tegangan Katoda, maka arus Anoda akan berhenti mengalir jika tidak ada arus-Gate yang mengalir. Dalam praktek, sering arus-Gate dibuat berbentuk pulsa dan bukan arus kontinyu untuk menjaga suhu P-N junction Gate-Katoda relatif tetap.



Gambar 2. Pengendalian arus dengan thyristor.

Gambar 2 memperlihatkan pengendalian arus Anoda oleh pulsa arus-Gate yang diberikan pada tiga kondisi penyalaaan, yaitu α_1 , α_2 , dan α_3 untuk setengah

gelombang. Nilai arus efektif atau *root mean square* (rms) sebanding dengan luas gelombang listrik dengan garis kesetimbangannya, mengikuti persamaan berikut:

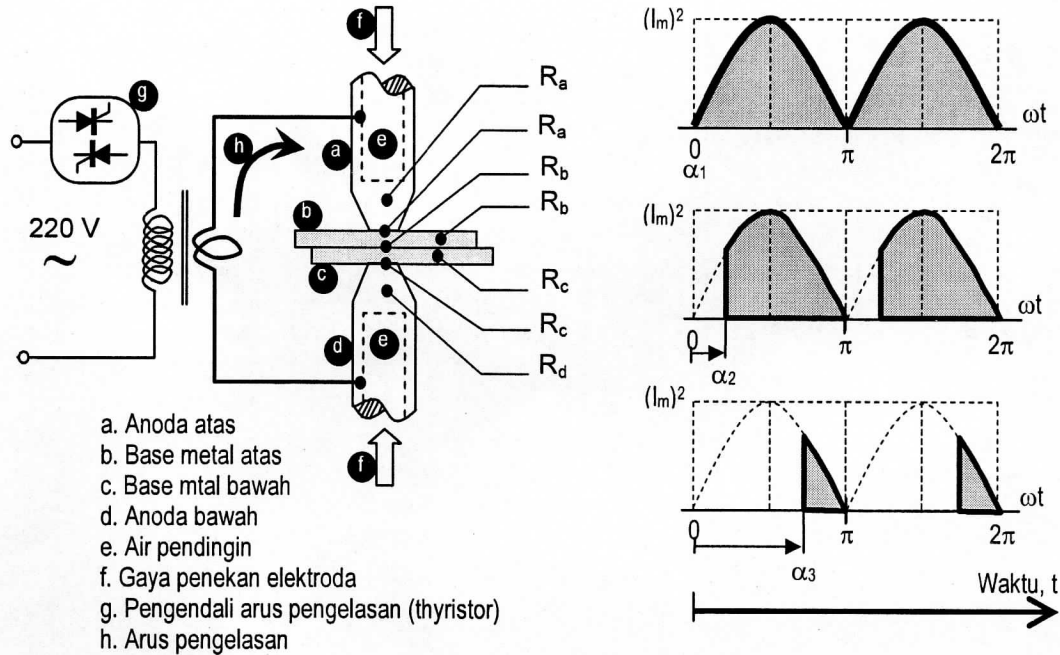
$$I_{a_rms_half_wave} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) - \int_0^{\alpha} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right)} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (1) adalah arus listrik Anoda efektif yang dikendalikan mengalir pada R untuk setengah gelombang. Sudut α adalah sudut *trigger* (penyalan) pada thyristor sehingga nilai arus Anoda dapat dikendalikan oleh sudut penyalan thyristor α , dengan $0 < \alpha < \pi$. Jika dua buah thyristor yang digunakan, maka pengendalian arus adalah gelombang penuh dan mengikuti persamaan (2) sebagai berikut:

$$I_{a_rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) - \int_0^{\alpha} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right)} \dots\dots\dots(2)$$

2.2 Resistance Spot Welding (RSW)

Pengelasan adalah penyatuan dua potong atau lebih logam menggunakan panas dan terkadang dengan penekanan. Untuk panas pengelasan yang berasal dari arus listrik yang mengalir pada resistansi logam yang akan di las (beserta kontak listriknya satu sama lain) disebut dengan *resistance welding*. Ada tiga jenis *resistance welding*, yaitu *spot welding*, *projection welding*, dan *seam welding*^[2].



(a). Komponen *Resistance Spot Welder*.

(b). Arus pengelasan dikendalikan oleh sudut α menggunakan thyristor.

Gambar 3. Prinsip kerja *resistance spot welding* (RSW).

Mesin las jenis *resistance spot welding* (RSW) memiliki dua elektroda yang tetap (atas dan bawah), sedangkan logam yang akan dilas (*base metal*) ditempatkan diantara kedua elektroda tersebut seperti pada Gambar 3.a. Resistansi kelistrikan

antara dua elektroda tersebut, jika dialiri arus listrik akan menimbulkan panas yang digunakan untuk pengelasan. Nilai resistansi tersebut⁴⁾ R_{total} seperti pada Gambar 3.a dan panas energi Q yang ditimbulkan mengikuti persamaan berikut.

$$R_{total} = R_a + R_{ab} + R_b + R_{bc} + R_c + R_{cd} + R_d \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = I_{a_rms}^2 R_{total} t$$

$$= \frac{t R_{total}}{\pi} \left(\int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) - \int_0^{\alpha} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right) \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan (4), dapat diketahui bahwa panas yang ditimbulkan (dalam joule) sangat ditentukan oleh waktu pengelasan (t) dan nilai arus listrik (I_{a_rms}) yang mengalir pada R_{total} , karena nilai R_{total} relatif tetap. Besar arus listrik tersebut sebanding luas kurva sinus kuadrat seperti pada Gambar 3.b, sehingga pengendalian waktu pengelasan dan luas kurva tersebut digunakan untuk mengendalikan panas pengelasan.

Selain waktu (t) dan arus listrik (I_{a_rms}), gaya tekan antar elektroda dan berikut pola tekan ketika arus pengelasan diberikan maupun setelah arus pengelasan, juga mempengaruhi kualitas hasil pengelasan^[3]. Kombinasi yang tepat dari semua parameter tersebut dapat berbeda-beda tergantung dari obyek logam yang dilas dan menjadi obyek dalam penelitian.

3. TATA KERJA

Langkah awal proses *refurbishing* mesin las ME-25 ini adalah memahami cara kerja mesin las tersebut secara detil beserta pengaruh parameter yang terlibat terhadap hasil pengelasannya. Dari proses pelacakan (*troubleshooting*) yang telah dilakukan, mesin las tersebut tidak berfungsi karena sistem *power electronics* nya, yaitu *switching* arus tinggi pengelasan tidak bekerja. Dari penelusuran lebih lanjut diketahui bahwa komponen *switching* arus tinggi tersebut, yaitu dua buah thyristor, masih berfungsi dengan baik, tetapi tidak dapat bekerja karena pengendali thyristor-nya rusak (tidak mengeluarkan pulsa penyalaan / *trigger*). Pengendali thyristor tersebut berupa modul yang tidak dapat diperbaiki, tetapi harus diganti dengan tipe yang sama. Strategi ini diambil oleh pabrikan pembuat mesin las ME-25 untuk mempermudah perawatan perbaikan jika mesin mengalami kerusakan. Kegiatan perbaikan memang akan menjadi mudah jika modul yang rusak tersebut tersedia di pasaran.

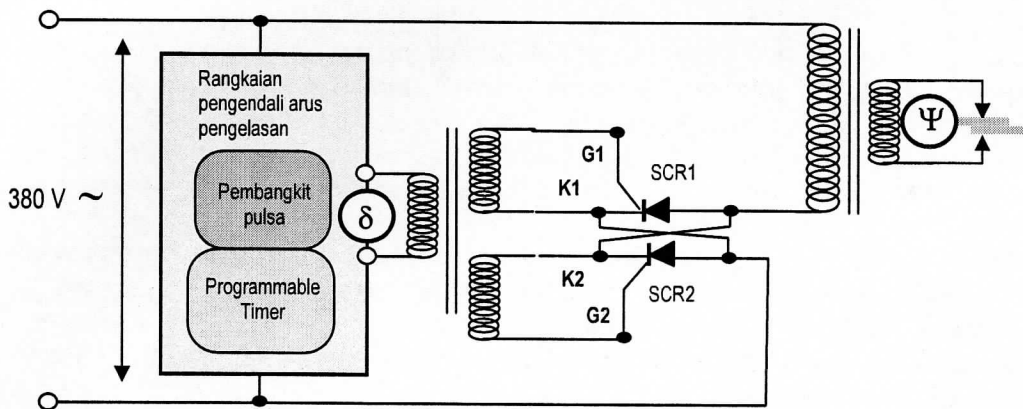
Modul yang rusak tersebut sulit diperoleh di pasaran, oleh karena itu tindakan *refurbishing* yaitu mengganti dengan produk lain yang disesuaikan karakteristiknya. Dalam hal ini produk lain tersebut dibuat sendiri menggunakan komponen elektronik lokal yang mudah diperoleh di pasaran. Untuk itu perlu proses analisis fungsi kerja dari modul sehingga dapat dibuatkan disain pengganti modul yang dapat bekerja sesuai seperti modul aslinya.

3.1 Analisis Pengendali Arus Pengelasan

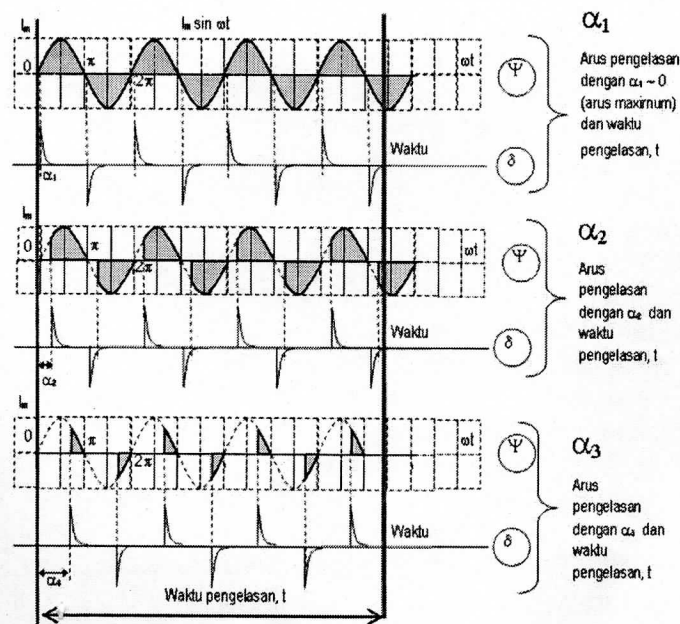
Pengendalian arus pengelasan mesin las ME-25 dilakukan menggunakan dua buah thyristor (SCR1 dan SCR2) untuk pengendalian arus gelombang penuh, dengan sudut penyalaan α bersifat variabel ($0 < \alpha < \pi$) oleh pembangkit deretan pulsa pada modul pengendali arus pengelasan seperti pada Gambar 4.a.

Prinsip kerja dari modul pengendali arus pengelasan pada Gambar 4.a adalah mengendalikan besar arus pengelasan beserta waktunya melalui dua buah thyristor

(pengendalian gelombang penuh), sehingga panas yang terjadi untuk pengelasan dapat dikendalikan sesuai dengan persamaan (4). Oleh karena itu harus dibangkitkan deretan pulsa yang dapat digeser-geser terhadap waktu saat munculnya (sudut fasanya) dan pewaktu yang dapat diatur sehingga deretan pulsa tersebut hanya mengalir ke Gate dari thyristor pada selang waktu tertentu. Bentuk pulsa dan gelombang arus hasil pengendalian tersebut seperti pada Gambar 4.b. Tiga jenis pulsa dengan sudut awal (α_1 , α_2 , dan α_3) yang berbeda diperlihatkan pada Gambar 4.b. Pulsa (δ) dan arus listrik (Ψ) akan digunakan untuk proses pengelasan pada Gambar 4.a tersebut.



(a). Bagan rangkaian pengendali arus dan waktu pengelasan Mesin ME-25.



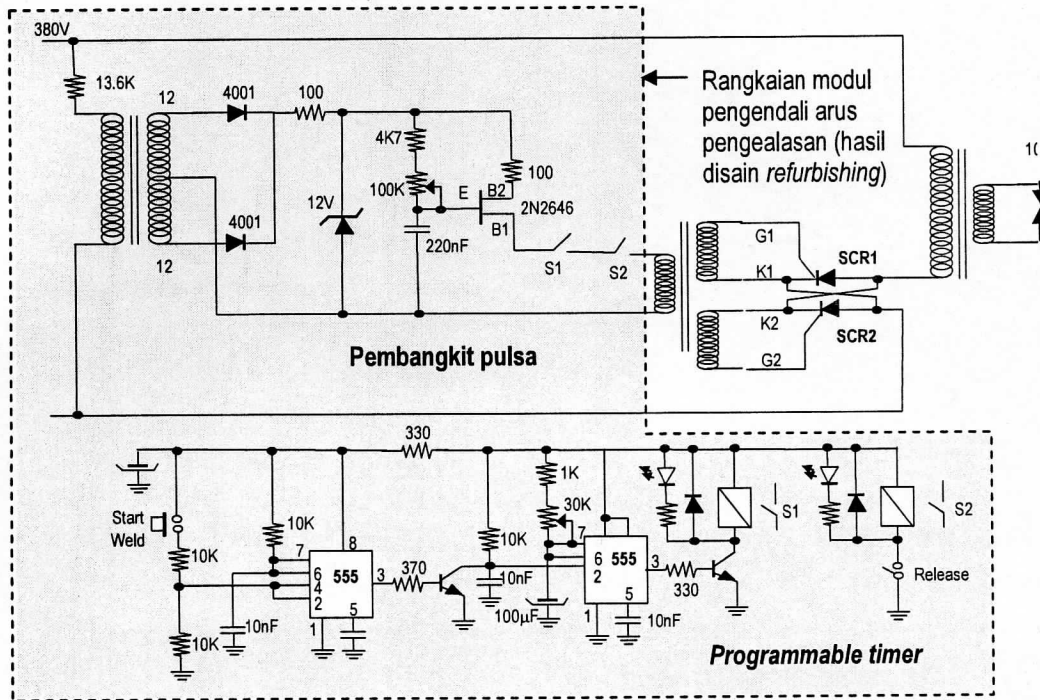
(b). Pulsa pengendali, arus, dan waktu pengelasan Mesin ME-25.

Gambar 4. Analisis pengendalian arus pengelasan mesin las ME-25.

3.2 Disain Modul Pengendali Arus

Untuk membangkitkan deretan pulsa yang diperlukan, digunakan rangkaian dasar *relaxation oscillator* menggunakan *Unijunction Transistor* (UJT). Untuk menggeser awal kemunculan pulsa (sudut fasa) digunakan rangkaian resistor R dan kapasitor C pada Gate dari UJT. Untuk membatasi kemunculan pulsa selalu terletak

pada perioda setengah gelombang dari listrik PLN maka *power supply* UJT berasal dari tegangan gelombang listrik yang di potong oleh zener dioda^[3].



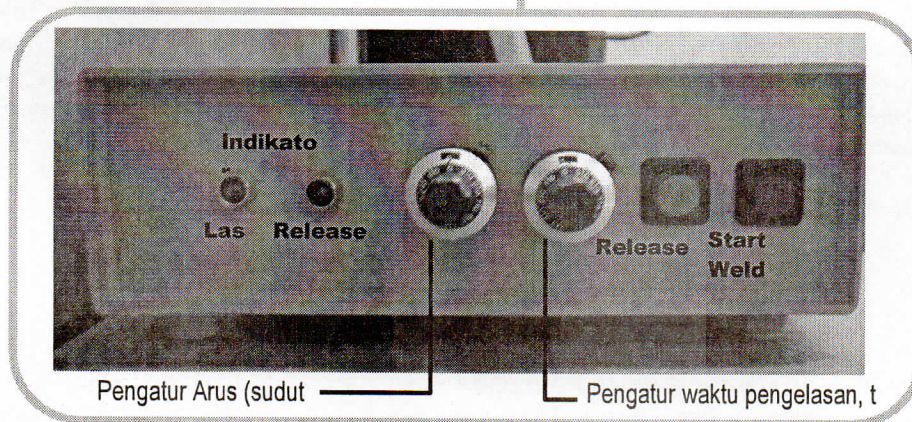
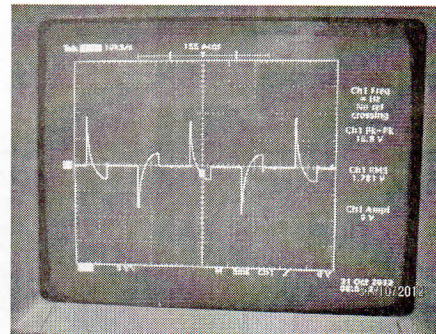
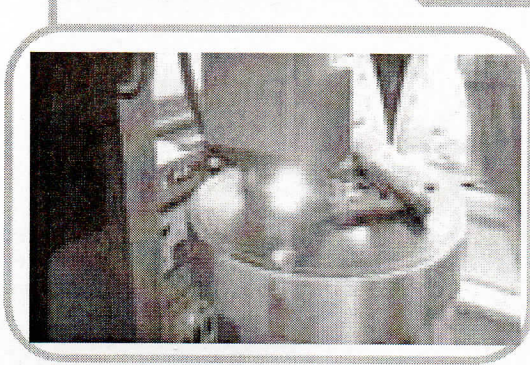
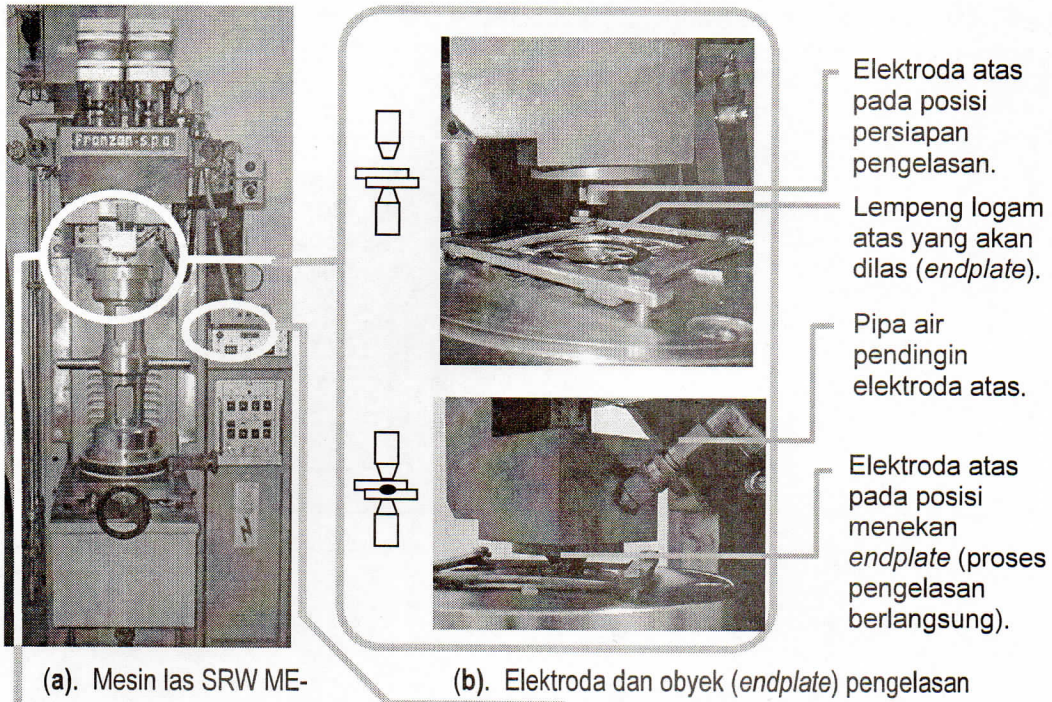
Gambar 5. Rangkaian elektronik pembangkit pulsa dan *programmable timer* untuk pengendali arus dan waktu pengelasan.

Rangkaian elektronik pewaktu (*timer*) dibuat berbasis pada rangkaian *general purpose counter-timer* NE-555, dan sistem *switching interlock* antara pembangkit pulsa dan pewaktu digunakan kontak relay karena sistem komponen itu juga yang digunakan oleh mesin ME-25 aslinya.

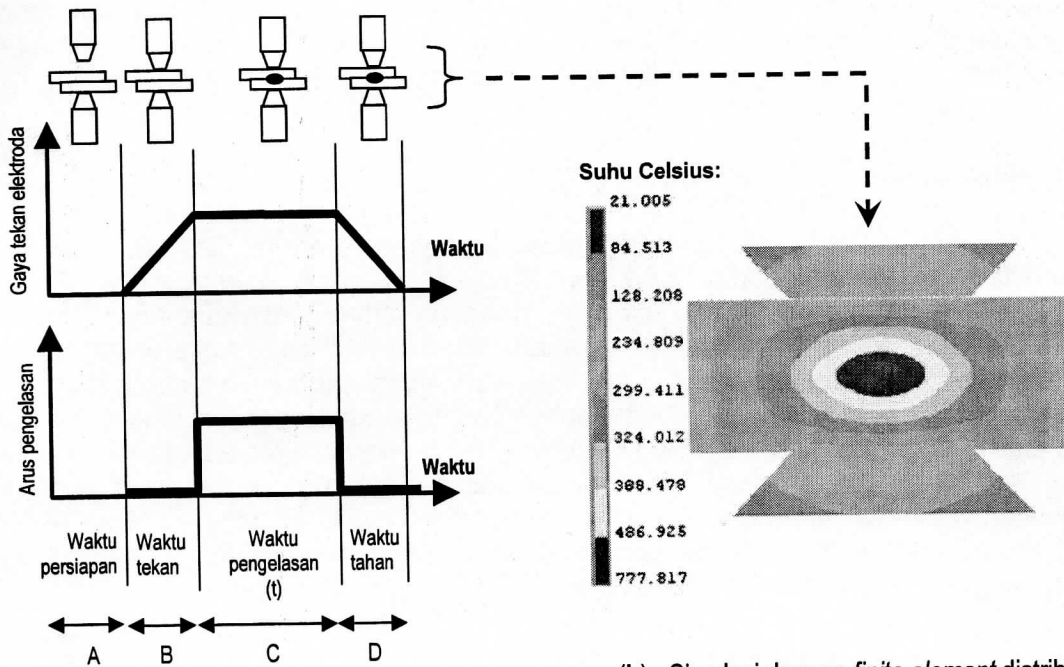
Disain lengkap modul pengendali arus tersebut adalah Gambar 5. Kontak S1 dan S2 dikendalikan oleh *timer* dan saklar manual *Release*. Saklar *Release* dikendalikan secara manual oleh operator, yaitu ditekan (ON) jika semua persiapan pengelasan telah siap. Strategi ini diambil agar tidak terjadi proses pengelasan sebelum proses persiapan lengkap dijalankan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 adalah percobaan mesin las ME-25 menggunakan pengendali arus hasil *refurbishing*. Mesin las dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diinginkan, dan telah diuji-fungsi oleh tim penguji jaminan kualitas. Proses persiapan, penekanan, dan pengelasan ditunjukkan pada Gambar 6.b dan 6.c. Pulsa perintah arus pengelasan ditunjukkan pada Gambar 6.d, dan modul pengendali hasil *refurbishing* ini pada Gambar 6.e. Pada mesin las aslinya modul Gambar 6.e ini tidak ada, tetapi modul buatan pabrikan berada terintegrasi dengan komponen lain di dalam kabinet instrumen mesin las. Percobaan ini mengikuti pola pengelasan yang ditunjukkan pada Gambar 7.a.



(e). Modul pengendali arus dan waktu pengelasan mesin las ME-25 hasil Gambar 6. Percobaan pengelasan menggunakan hasil *refurbishing*.

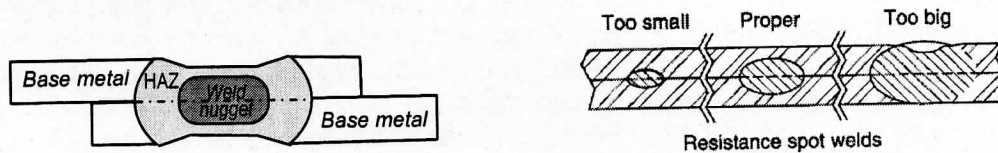


(a). Siklus operasi percobaan^[5].

(b). Simulasi dengan *finite element* distribusi suhu pada pengelasan RSW^[6].

Gambar 7. Siklus operasi dan hasil pengelasan *resistance spot welding* (RSW).

Arus pengelasan belum bisa di tampilkan mengingat arus tersebut cukup besar (~1000 Ampere) sehingga memerlukan rangkaian khusus untuk pengukurannya. Disamping itu juga diperlukan rangkaian sinkronisasi untuk mengukur arus pengelasan tersebut, karena muncul hanya saat pengelasan (periode D pada Gambar 7.a). Proses pengelasan (Gambar 6..c) ditunjukkan secara visual, dimana obyek yang dilas membara, hal ini sesuai dengan hasil sebuah simulasi untuk distribusi panas pada elektroda dan obyek yang di las yang ditunjukkan pada Gambar 7.b. Suhu elektroda lebih rendah dari suhu obyek yang dilas karena kedua elektroda dialiri air pendingin.



(a). Pelasan pada *Resistance Spot Welding*, HAZ: *Heat Affected Zone*^[7].

(b). Kualitas pelasan RSW dari ukuran *weld-nugget* nya^[2].

Gambar 8. Mikrostruktur hasil pelasan *resistance spot welding* (RSW).

Perubahan mikrostruktur lempeng logam akibat dari panas pengelasan dikelompokkan menjadi *base metal* (struktur logam asal), *heat affected zone* (HAZ), dan *weld nugget* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.a. Dari pengelompokan tersebut dapat dievaluasi kualitas pelasan dengan melihat ukuran *weld nugget* nya seperti ditunjukkan pada Gambar 8.b. Arus dan waktu pengelasan akan menentukan panas pengelasan, dan panas pengelasan yang membesar membuat *weld nugget*

membesar ukurannya^[7] untuk *stainless steel*. Kualitas pengelasan pada umumnya ditunjukkan oleh kriteria pada Gambar 8.b, yang ditentukan oleh ukuran *weld-nugget* yang terjadi, yang berarti juga ditentukan oleh besarnya arus listrik pengelasan^[8].

5. KESIMPULAN

Mesin las RSW ME-25 telah dapat beroperasi kembali setelah dilakukan *refurbishing* pada pengendali arusnya. Strategi pabrikan pembuat mesin las menggunakan modul dalam disainnya, dengan tujuan mempermudah proses perbaikan jika mesin mengalami kerusakan, tidak selalu dapat diterapkan dalam praktek nya. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan keberadaan suku cadang modul itu sendiri di pasaran yang mungkin tidak diantisipasi untuk penggunaan mesin di lokasi yang jauh dari tempat dimana mesin tersebut dibuat. *Refurbishing* adalah jalan keluar untuk kasus tersebut. Makalah ini memberikan contoh bahwa program kegiatan perawatan terutama perawatan perbaikan memerlukan sumber daya manusia (SDM) yang kreatif dan mempunyai pengetahuan dasar yang cukup untuk peralatan dan perangkat yang dirawatnya.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada saudara Mohammad Subkhan staf BKHH-BATAN, Sugeng Riyanto, Djoko Kisworo, Triarjo, dan Dedi Haryadi staf PTBN-BATAN, atas bantuan teknis-nya selama kegiatan pelacakan, konstruksi, instalasi dan percobaan berlangsung.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, diakses Tanggal 4 maret 2013, *Instalasi Elemen Bakar Eksperimental, PTBN – BATAN*, Komplek perkantoran Puspiptek, http://www.batan.go.id/ptbn/php/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=63.
- [2] Mesler Jr R W, 2004, *Joining Materials of Structures.*, Butterworth Heinemann. London.
- [3] Lander CW., 1987., *Power Electronics.*, McGraw-Hill Book Company., London.
- [4] Aslanlar S, dkk., 2007., *Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance welding.*, *Materials and Design* 28., Elsevier., www.sciencedirect.com
- [5] Pereira AM., dkk., 2012., *Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy.*, *Material and Design* 31., Elsevier., www.sciencedirect.com
- [6] Lei Z., dkk., 2011., *Finite Element Analysis for Transient Thermal Characteristics of Resistance Spot Welding Process with Three Sheets Assemblies.*, *Procedia Engineering.*, Elsevier., www.sciencedirect.com
- [7] Kocabekir B., dkk., 2008., *An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel.* *Journal of Materials Processing Technology.*, Elsevier., www.sciencedirect.com
- [8] Ozyurek D., 2008., *An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel.*, *Materials and Design*, 29., Elsevier., www.sciencedirect.com.