



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
*SPOT WELDING DN-5***

PROYEK AKHIR

CAHYA TRI WASKITA

40040219650043

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
SEPTEMBER 2023**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
*SPOT WELDING DN-5***

**Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan**

CAHYA TRI WASKITA

40040219650043

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
SEPTEMBER 2023**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan benar

Nama : Cahya Tri Waskita

NIM : 40040219650043

Tanda Tangan :

Tanggal : 25 September 2023

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK

Jalan Prof. Sudarto, S.H.
Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Tel./Faks.(024) 7471379
www.vokasi.undip.ac.id
email: vokasi@ve.undip.ac.id

TUGAS PROYEK AKHIR

No: 223 / PA / RPM / VI / 2023

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut :

Nama : Cahya Tri Waskita
NIM : 40040219650043
Judul Proyek Akhir : **Rancang Bangun Alat Sistem Pendingin Pada Mesin Spot Welding DN-5 Menggunakan Water**
Dosen Pembimbing : Alaya Fadlu H. M, S.T.,M.Eng.,
NIP. : 198509272012121001

Isi Tugas :

1. Merancang sistem pendingin pada mesin spot welding.
2. Menguji kinerja sistem pendingin pada mesin spot welding.
3. Menganalisa kinerja sistem pendingin
4. Menguji dan menganalisa sistem pendingin pada mesin spot welding dengan menggunakan air
5. Membuat laporan akhir rancang sistem pendingin pada mesin spot welding.
6. Membuat prototype dan/atau paten sederhana dan/atau HAKI hak cipta dan/atau jurnal publikasi.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 16 Juni 2023

Ketua PSD IV

Rekayasa Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T.,M.T.,

NIP. 197609152003122001

Tembusan :

1. Sekertaris Prodi
2. Dosen Pembimbing Proyek Akhir

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh

Nama : Cahya Tri Waskita

NIM : 40040219650043

Program Studi : D IV Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul : Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Mesin
Spot Welding DN-5

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Alaya Fadlu H. M, ST, M Eng ()

Penguji I : Alaya Fadlu H. M, ST, M Eng ()

Penguji II : Sri Utami Handayani, S.T., M.T ()

Penguji III : Dr. Seno Darmanto, ST, MT ()

Mengetahui,
Ketua Program Studi DIV
Rekayasa Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP 19760915 200312 2 001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Cahya Tri Waskita
NIM : 40040219650043
Jurusan/Program Studi : D IV Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Mesin *Spot Welding* DN-5

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : 25 September 2023

Yang menyatakan,

Cahya Tri Waskita

MOTO

**“Kesalahan Terburuk Adalah Ketertarikan Kita Dengan
Kesalahan Orang Lain”**

Ali Bin Abi Thalib

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Proyek Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Mesin *Spot Welding* DN-5”.

Proyek Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Dalam menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini, penulis mendapatkan banyak sekali doa, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Atas berbagai bantuan dan dukungan tersebut, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Alaya Fadlu H. M, S.T, M Eng selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
4. Dr.Drs. Wiji Mangestiyono, M.T. selaku Dosen Wali selama menjadi mahasiswa Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik.
5. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah vokasi Universitas Diponegoro.
6. Keluarga dan terutama kedua orang tua dan wali yang mendukung.
7. Semua teman-teman Sarjana Rekayasa Perancangan Mekanik angkatan 2019.

Penulis menyadari masih banyak yang dapat dikembangkan pada laporan Proyek Akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima setiap masukan dan kritik yang diberikan. Semoga Laporan Proyek Akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis sendiri dan semua pihak khususnya bagi mahasiswa Rekayasa Perancangan Mekanik.

Semarang, 25 September 2023

Cahya Tri Waskita

ABSTRAKSI

Las titik (Spot Welding) merupakan metode pengelasan resistansi listrik yang mana dua atau lebih plat logam dijepit diantara elektroda logam. Saat ini mesin las *spot welding* sudah dilengkapi dengan sistem pendingin yang bertujuan untuk mendinginkan elektroda pengelasan dan pengelasan yang dihasilkan tetap baik saat mesin las digunakan dalam waktu yang cukup lama. Pada mesin las *spot welding* DN-5 sudah terdapat saluran pendingin, namun belum terdapat alat pendingin, sehingga bila digunakan dalam waktu lama dapat merusak elektroda. Pada proyek akhir ini, penulis membuat alat sistem pendingin pada mesin *spot welding* DN-5 dengan media pendinginan air dan *coolant*. Tahapan proyek akhir ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pembuatan desain, fabrikasi alat, dan pengujian alat menggunakan media air dan *coolant*. Proses fabrikasi dilaksanakan di Balai Karya Rekayasa Perancangan Mekanik. Dari hasil rancang bangun yang telah dilakukan, menghasilkan alat sistem pendingin pada mesin *spot welding* DN-5. Analisa dilakukan dengan membandingkan media air dan *coolant* dengan volume 10L dan jumlah pengelasan 40 kali. Media *coolant* mulai mengalami kestabilan pada pengelasan ke 24 suhu yang keluar 31,2°C dan media air mulai mengalami kestabilan pada pengelasan ke 31 suhu yang keluar 33,8°C, hasilnya menyatakan bahwa media *coolant* lebih stabil dibanding dengan media air. Efisiensi sistem pendingin dengan media air diperoleh sebesar 53,73% dan dengan media *coolant* diperoleh sebesar 85,4%.

Kata kunci : *spot welding*, air, *coolant*, rancang bangun

ABSTRACT

Spot welding is an electrical resistance welding method in which two or more metal plates are clamped between metal electrodes. Currently, spot welding machines are equipped with a cooling system that aims to cool the welding electrodes and the resulting welding remains good when the welding machine is used for a long time. In the DN-5 spot welding machine there is already a cooling channel, but there is no cooling device, so that if used for a long time it can damage the electrode. In this final project, the author makes a cooling system tool on the DN-5 spot welding machine with water and coolant cooling media. The stages of this final project include literature and field studies, design making, tool fabrication, and tool testing using water and coolant media. The fabrication process was carried out at the Mechanical Design Engineering Center. From the results of the design that has been done, produce a cooling system tool on the DN-5 spot welding machine. Analysis is done by comparing water and coolant media with a volume of 10L and the number of welding 40 times. Coolant media began to experience stability at the 24th welding temperature out 31.2 ° C and water media began to experience stability at the 31st welding temperature out 33.8 ° C, the results state that coolant media is more stable than water media. The efficiency of the cooling system tool with water media is obtained at 53,73% and with coolant media it was 85.4%.

Keywords : *spot welding, water, coolant, design and construction*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
SURAT TUGAS PROYEK AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
MOTO.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAKSI	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengelasan	4
2.2 Las Titik (Spot Welding).....	4
2.3 Jenis-Jenis Las Resistensi Titik (Spot Welding)	5

2.3.1	Las titik portable	5
2.3.2	Las titik stationer	5
2.4	Cara Kerja Mesin Las Spot Welding	6
2.5	Welding Time	7
2.6	Prinsip Kerja Pendingin Mesin Spot Welding	10
2.6.1	Air	10
2.6.2	Coolant	11
2.7	Kalor	11
2.8	Perpindahan Kalor	12
2.8.1	Konduksi	12
2.8.2	Konveksi	13
2.8.3	Radiasi	13
2.9	Kapasitas dan Kecepatan Aliran Fluida	14
2.10	Jenis Aliran	15
2.10.1	Bilangan Reynold (Re)	15
2.10.2	Bilangan Prandtl (Pr)	16
2.10.3	Bilangan Nusselt (Nu)	17
2.11	Korelasi Dittus-Boelter	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Diagram Alir	19
3.2	Studi Literatur	20
3.3	Desain Pendingin	20
3.4	Persiapan Alat dan Bahan	21
3.4.1	Alat	21

3.4.2	Bahan	27
3.5	Fabrikasi Alat	31
3.6	Variabel Parameter	33
3.7	Proses Pengujian.....	33
3.7.1	Perhitungan Efisiensi Sistem Pendingin	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hubungan Antara Waktu Pengelasan Dengan Suhu Pendingin	35
4.2	Hasil Analisa Perpindahan Kalor	39
4.2.1	Perhitungan Konduksi Pada Selang.....	40
4.2.2	Perhitungan Konduksi Pada Penampungan Air.....	40
4.2.3	Perhitungan Konveksi Pada Penampungan Air	41
4.2.4	Perhitungan Kalor Yang Diserap Air.....	43
4.2.5	Perhitungan Kalor Yang Dilepas Elektroda.....	43
4.2.6	Efisiensi Sistem Pendingin Menggunakan Media Air.....	44
4.2.7	Perhitungan Kalor Yang Diserap Coolant	44
4.2.8	Perhitungan Kalor Yang Dilepas Elektroda.....	46
4.2.9	Efisiensi Sistem Pendingin Menggunakan Media Coolant.....	46
BAB V PENUTUP.....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema las titik	7
Gambar 2. 2 Periode waktu pengelasan	9
Gambar 2. 3 Aliran pendinginan pada las titik	10
Gambar 2. 4 (a) aliran laminar (b) aliran turbulen	15
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	19
Gambar 3. 2 Proyeksi amerika alat sistem pendingin	20
Gambar 3. 3 Mesin las titik DN-5	22
Gambar 3. 4 Gagang elektroda.....	23
Gambar 3. 5 Foot pedal	23
Gambar 3. 6 Elektroda	24
Gambar 3. 7 Adjustment of welding time	24
Gambar 3. 8 Adjustment of welding voltage	25
Gambar 3. 9 Obeng	25
Gambar 3. 10 Termometer digital	26
Gambar 3. 11 Tang kombinasi	26
Gambar 3. 12 Tang ampere	27
Gambar 3. 13 Box kontainer plastik	28
Gambar 3. 14 Selang air ½ inch	28
Gambar 3. 15 Pompa air.....	29
Gambar 3. 16 Klem selang	30
Gambar 3. 17 <i>Coolant</i>	30
Gambar 3. 18 Alat sistem pendingin.....	31

Gambar 4. 1 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan <i>coolant</i> volume 5L....	35
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan <i>coolant</i> volume 10L..	36
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan <i>coolant</i> volume 15L..	37
Gambar 4. 4 Grafik suhu air pendingin terhadap waktu pengelasan	38
Gambar 4. 5 Grafik suhu <i>coolant</i> pendingin terhadap waktu pengelasan.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai konduktifitas termal bahan.....	13
Tabel 2. 2 Nilai – nilai viskositas air.....	16
Tabel 3. 1 Peralatan pembuatan alat	21
Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin las titik tipe DN-5	22
Tabel 3. 3 Bahan pembuatan alat	27
Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa	29
Tabel 3. 5 Variabel parameter	33

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Hal.
H	Panas yang dihasilkan (J)	7
I	Arus listrik (A)	7
R	Resistansi listrik (ohm)	7
t	Waktu pengelasan (s)	7
Q	Kalor yang diterima atau dilepas (J)	12
m	Massa zat (Kg)	12
c	Kalor jenis (J/Kg°C)	12
ΔT	Perubahan temperature (°C)	12
Q	Laju perpindahan panas konduksi (J)	12
k	Konduktifitas panas bahan (W/m°C)	12
A	Luas permukaan (m ²)	12
x	Tebal bahan (m)	12
Q	Laju perpindahan panas konveksi (J)	13
h	Koefisien konveksi (W/m°C)	13
Q	: Laju perpindahan panas radiasi (J)	14
σ	Konstanta Ttefan-Boltzmann	14
T	Suhu absolut benda (°C)	14
Q	Kapasitas aliran (m ³ /s)	14
V	Kecepatan aliran (m ²)	14
Re	Bilangan Reynold	16
d	Diameter (m)	16
μ	Viskositas dinamik	16
v	Viskositas kinematik	16
Pr	Bilangan Prandlt	17
Nu	Bilangan Nusselt	17
η	Efisiensi Sistem Pendingin (%)	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pengujian media air dan <i>coolant</i> volume 5L.....	51
Lampiran 2. Data pengujian media air dan <i>coolant</i> volume 10L.....	52
Lampiran 3 Data pengujian media air dan <i>coolant</i> volume 15L.....	53
Lampiran 4. Perbaikan, fabrikasi, dan pengujian alat.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada industri manufaktur salah satunya industri otomotif merupakan salah satunya, pengelasan titik (spot resistance welding) banyak diaplikasikan untuk menyambung antar material yang berbentuk lembaran. Pengelasan titik sendiri sudah ada sejak tahun 1950-an, dan setiap kendaraan diperkirakan memiliki lebih dari 2000 sambungan las titik. Pengelasan titik memiliki keunggulan dari sudut pandang ekonomi, di mana dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material logam dan memiliki waktu siklus proses yang singkat.

Metode pengelasan ini menggunakan elektroda sebagai penghantar arus listrik yang terbuat dari paduan tembaga. Umumnya, elektroda logam tembaga tersebut dipadukan dengan logam lain untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya. Lembaran baja lapis seng merupakan salah satu jenis material yang banyak digunakan pada industri otomotif. Proses fabrikasinya banyak menggunakan teknologi pengelasan titik. Las titik yang digunakan pada umumnya berskala besar dan hanya digunakan pada satu macam pengelasan saja, maka dari itu dibutuhkan suatu mesin las titik berskala kecil yang mampu las titik, soldering, brazing.

Proses pengelasan titik merupakan suatu proses yang kompleks, melibatkan interaksi elektrik, panas, mekanik dan fenomena metalurgi, di mana setiap parameter proses memiliki pengaruh terhadap kualitas dan karakteristik hasil lasan. Masalah yang sering dihadapi pada metode ini adalah kualitas hasil las atau nugget yang terbentuk. Kualitas las tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor

seperti kualitas permukaan logam dan perubahan dimensi (deformasi) dari elektroda yang digunakan seperti mengalami keausan.

Sistem pendingin pada mesin las titik ini menggunakan aliran air atau *coolant* dengan tujuan untuk menstabilkan suhu pada elektroda saat mesin las digunakan. Mesin las titik tipe DN-5 ini sudah terdapat jalur aliran air, namun belum dilengkapi dengan dengan sistem pendingin, yang dimana jika digunakan dalam waktu yang lama akan mengakibatkan keausan pada elektroda dan hasil pengelasan tidak baik.

Dari penjabaran diatas maka kami merancang sistem pendingin pada mesin las titik yang terkait dengan konsep, dimana mesin las titik stationer yang telah dimiliki dimodifikasi dengan adanya sistem pendingin tersebut. Mesin Las titik telah memiliki saluran pendingin didalamnya sehingga modifikasi mesin las tersebut hanya ditujukan pada sistem pendingin.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisa sistem pendingin pada elektroda mesin spot welding menggunakan media air dan *coolant*.
2. Bagaimana analisa perpindahan kalor yang terjadi pada sistem pendingin.

1.3. Batasan Masalah

1. Rancang bangun hanya dilakukan pada sistem pendingin pada mesin spot welding.
2. Perakitan sistem pendingin pada mesin spot welding.

3. Pengujian sistem pendingin menggunakan air dan *coolant*.
4. Pendinginan dilakukan dibagian elektroda.
5. Hanya menganalisa kestabilan sistem pendingin dan perpindahan kalor yang terjadi.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Dapat mengetahui kestabilan sistem pendingin pada elektroda mesin spot welding menggunakan media air dan *coolant*.
2. Dapat mengetahui perpindahan kalor yang terjadi pada sistem pendingin.

1.5. Luaran

Target Luaran yang dapat dihasilkan dari penelitian rancang bangun sistem pendingin pada mesin spot welding ini yaitu :

1. Produk rancang bangun sistem pendingin pada mesin las spot welding.
2. Laporan proyek akhir.
3. Prototype dan/atau paten sederhana dan/atau HAKI hak cipta dan/atau jurnal publikasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tidak terpisahkan dari proses manufaktur. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekan dan dengan atau tanpa logam tambahan serta menghasilkan sambungan yang kontinu. (MNC Publishing ,2021)

2.2 Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik (*Spot Welding*) merupakan metode pengelasan resistansi listrik yang mana dua atau lebih plat logam dijepit diantara elektroda logam. Proses pengelasan dimulai ketika elektroda bersinggungan dengan logam dibawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan. Setelah itu arus bertegangan rendah dialirkan diantara elektroda, logam yang bersinggungan mengalami kenaikan suhu (panas) hingga mencapai suhu pengelasan. Apabila suhu pengelasan telah dicapai, tekanan antara elektroda memaksa logam menjadi satu dan membentuk sambungan las yang manaperiode ini disebut sebagai waktu las. Kemudian, arus dihentikan meski tekanan masih ada, periode ini disebut dengan waktu tenggang. Kekuatan logam perlahan meningkat kembali setelah logam menjadi dingin. Tekanan dihilangkan dan benda kerja dipindahkan.

Las titik merupakan pengelasan resistansi listrik yang paling sederhana. Salah satu syarat untuk memperoleh sambungan yang baik ialah permukaan benda kerja harus bersih dan bebas dari karat atau kotoran lainnya. Apabila lapisan permukaan kotor, akan meningkatkan nilai tekan permukaan dan adanya panas setempat yang berlebih. Panas yang terjadi dapat mempengaruhi hasil dari pengelasan. (Riswan Eko Wahyu Susanto, 2013)

2.3 Jenis-Jenis Las Resistensi Titik (*Spot Welding*)

Mesin las titik dengan kapasitas yang besar (pedestal) adalah berat dan tidak portable, mesin las yang lebih kecil sering dipasang pada meja. Dalam pengerjaannya kedua bahan yang akan disambung harus dibawa ketempat dua jenis mesin las tersebut. (Riswan Eko Wahyu Susanto, 2013)

2.3.1 Las titik portable

Las titik tipe ini digunakan untuk menyambung pelat baja yang tidak dapat dipindah atau benda kerja yang tidak dapat dilas dengan menggunakan las titik standar, namun mesin las titik ini mempunyai keterbatasan karena tidak dilengkapi dengan sistem pendingin, sehingga tidak dapat dipakai terus menerus.

2.3.2 Las titik stationer

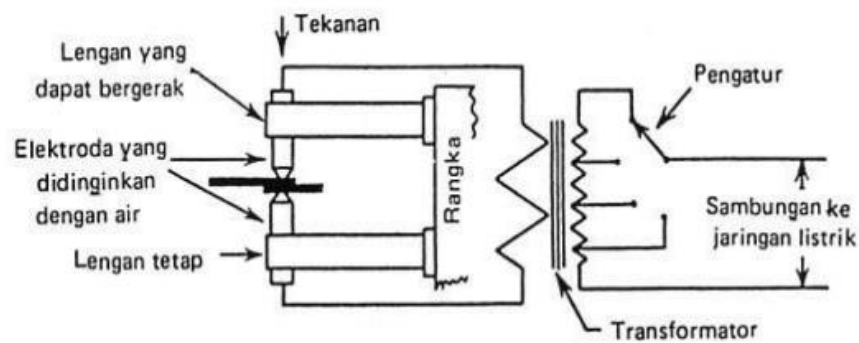
Mesin las ini digunakan untuk menyambung pelat secara cepat dan efisien dimana pelat dapat dengan mudah dibawa pada mesin untuk di las. Kapasitas mesin las titik ini lebih besar dan dilengkapi dengan sistem pendingin (sirkulasi air pendingin).

2.4 Cara Kerja Mesin Las *Spot Welding*

Cara kerja las titik, transformator yang terdapat dalam mesin las merubah tegangan arus bolak – balik dari 110 volt atau 220 volt menjadi 4 volt sampai 12 volt dan arusnya menjadi cukup besar sehingga dapat menimbulkan panas yang diperlukan. Kemudian, pelat yang di las dijepit pada tempat sambungan dengan sepasang elektroda dari paduan tembaga dan kemudian dialiri arus listrik yang cukup besar dalam waktu yang singkat, maka pada tempat jepitan timbul panas karena tahanan listrik yang menyebabkan logam di tempat tersebut mencair dan tersambung. Panas ini juga timbul di tempat kontak antara elektroda dan pelat, tetapi tidak sampai mencairkan logam, karena ujung – ujung elektroda didinginkan dengan air. Ketika aliran listrik dihentikan, logam yang mencair tadi akan menjadi dingin dan terbentuk sambungan dibawah tekanan gaya elektroda agar tidak terjadi busur antara elektroda dan sambungan. (H. Wiryosumarto dan Toshie Okmura, 2000)

Siklus pengelasan titik dimulai ketika elektroda menekan pelat dimana arus belum dialirkan. Waktu proses ini disebut waktu tekan (*squeeze time*). Setelah itu arus dialirkan ke elektroda sehingga timbul panas pada pelat di posisi elektroda sehingga terbentuk sambungan las. Waktu proses ini disebut waktu 9 pengelasan (*heat or weld time*).

Setelah itu arus dihentikan namun tekanan tetap ada pada proses ini disebut waktu tenggang (*hold time*). Kemudian logam dibiarkan mendingin sampai sambungan menjadi kuat dan tekanan di hilangkan dan pelat siap dipindahkan untuk selanjutnya proses pengelasan dimulai lagi untuk titik baru.



Gambar 2.1 Skema las titik

(Sumber: H. Wiryosumarto dan Toshie Okmura (2000, hlm 38)

Energi panas yang diberikan pada operasi pengelasan tergantung pada aliran arus listrik, resistansi rangkaian, dan panjang waktu arus dialirkan, seperti rumus berikut ini.

$$H = I^2 \cdot R \cdot t$$

Keterangan:

H : Panas yang dihasilkan (Joule)

I : Arus listrik (Ampere)

R : Resistansi listrik (ohm)

t : Waktu pengelasan (detik)

(Riswan Eko,2013)

2.5 Welding Time

Variabel yang dapat diatur (*adjustable variable*) untuk mendapatkan energi panas yang masuk (*heat input*) pada pengelasan resistensi listrik adalah kuat arus yang digunakan (*current welding*) dan waktu pengelasan (*welding time*). Waktu pengelasan biasanya sangat singkat. Dimana waktu pengelasan dalam persatuan *cycle* untuk listrik dengan frekuensi 50Hz, 1 dtk = 50 cyc maka untuk 1 cyc = 0,02

dtk. Waktu pengelasan untuk pengelasan resistensi listrik terdiri dari 3 waktu yaitu: (Ruukki, 2007)

- *Set-up time*
- *Welding Time*
- *Holding Time*

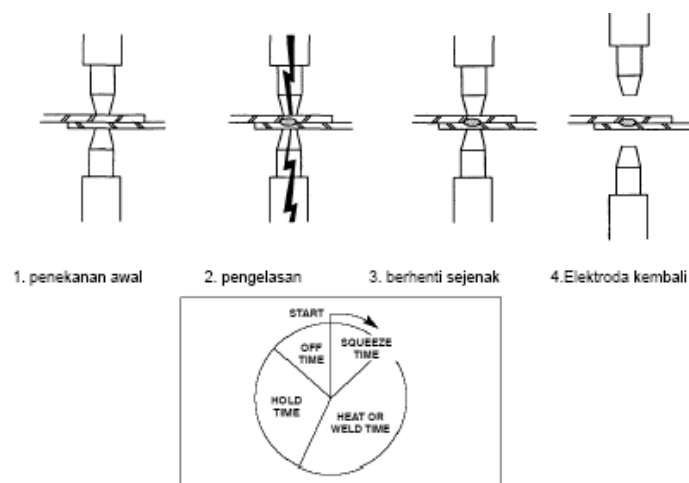
Set-Up Time (Pre-welding Squeeze Time) berfungsi untuk menekan benda kerja dan menyetel tahanan *interface (setting-up reproducible resistance)* sebelum pengelasan. Akan tetapi set-up time tidak memberikan efek terhadap propertis teknis (*technical properties*) dari hasil pengelasan, meski demikian harus diberikan cukup lama agar elektroda memberikan gaya penekanan yang cukup sebelum arus listrik dialirkan (Ruukki, 2007).

Welding Time (Current Time) atau waktu pengelasan adalah waktu dimana arus listrik dialirkan saat proses pengelasan. *Welding time* sangat singkat antara 4-50 cycle (0.1-1 detik). Pengaturan *welding time* tergantung dari mesin las resistensi listrik yang digunakan. Pada mesin las sudah tersedia panel pengaturan *welding time* yang ingin dikehendaki, besarnya *welding time* dipengaruhi oleh tebal pelat yang dilas dan berhubungan dengan kuat arus, artinya sangat memungkinkan jika arus yang diberikan besar maka *welding time* lebih singkat, jika arus yang diberikan kecil maka *welding time* bisa lebih lama, (Ruukki, 2007).

Saat menggunakan *welding time* yang terlalu lama maka benda kerja dan elektroda akan menghantarkan panas keluar dari permukaan material yang terhubung (*conecting surface*) dan semakin banyak panas yang terbuang (Heat Loss) sehingga nugget terlalu kecil, untuk material dengan konduktivitas listrik yang tinggi seperti tembaga dan aluminium menggunakan *welding time* yang lebih

singkat dari pada baja dan paduannya. Penggunaan *welding time* yang lama akan lebih menguntungkan pada pengelasan material yang cenderung keras dan getas karena dengan *welding time* yang lama maka waktu pendinginan juga akan lama. (Ruukki, 2007).

Holding time adalah waktu dimana setelah nugget terbentuk dan arus berhenti dialirkan gaya penekanan tetap diberikan untuk mencegah terbentuknya pori – pori dalam nugget. *Holding time* diberikan cukup lama saat proses pendinginan (logam cair mengeras kembali) agar mencapai kekuatan yang cukup pada daerah yang dilas. Oleh karena itu pelat yang semakin tebal yang akan dilas maka semakin lama *hold time* yang diberikan. Secara umum lama *hold time* dalam pengelasan *Spot Welding* adalah 10-50 cycles. Waktu *hold time* yang pendek (10-20 cycles) biasanya diberikan pada pengelasan material yang cenderung getas untuk mencegah efek pendinginan dari elektroda pada daerah las, (Ruukki, 2007).



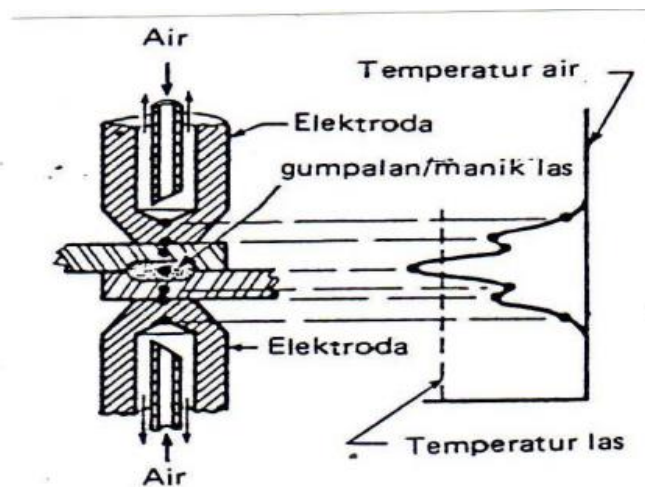
Gambar 2. 2 Periode waktu pengelasan

(Sumber: Riswan Eko Wahyu Susanto, 2013)

2.6 Prinsip Kerja Pendingin Mesin Spot Welding

Sistem pendinginan berfungsi untuk menjaga suhu optimal pada pengelasan. Dengan suhu yang optimal maka hasil lasan dapat diperoleh sesuai dengan standar. Akibat tidak terdapatnya sistem pendinginan maka elektroda atau komponen pengelas akan mudah aus dikarenakan suhu yang semakin lama semakin tinggi dan tanpa diimbangi dengan pendinginan.

Dalam mesin las titik komponen utama yang sangat membutuhkan pendinginan adalah elektroda las titik. Hal ini dikarenakan elektroda merupakan komponen penyambung (berupa tahanan listrik) yang menimbulkan panas pada suhu tertentu. Oleh sebab itu sebagian besar desain dari elektroda las titik didesain dengan sistem pendinginan berupa hole (lubang pendinginan). (Riswan Eko.2013)



Gambar 2. 3 Aliran pendinginan pada las titik

(Sumber: Amstead, B. H, Teknologi Mekanik: 175)

2.6.1 Air

Air adalah cairan tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa yang mengandung H₂O, digunakan sebagai standar berat jenis dan panas jenis. Pada tekanan dan temperatur udara standar titik didih air sebesar 100°C.

Kualitas air yaitu sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat energi atau komponen lain di dalam air. Kualitas air dinyatakan dengan beberapa parameter yaitu parameter fisika (suhu, kekeruhan, padatan terlarut dan sebagainya), parameter kimia (pH, oksigenterlarut, BOD, kadar logam dan sebagainya) dan parameter biologi (keberadaan plankton, bakteri, dan sebagainya). (Effendi, 2003)

2.6.2 *Coolant*

Coolant adalah cairan pendingin yang memiliki titik beku yang rendah dan titik didih yang tinggi sehingga dapat mencegah mesin dari panas yang berlebih. *Coolant* juga melindungi logam sistem pendingin seperti kuningan, tembaga, baja, besi cor dan aluminium dari korosi. *Coolant* merupakan pendingin premium, campuran 30% konsentrat dengan 70% air murni tanpa ion mineral dan diformulasikan dari ethylene glycol dan adiktif yang seimbang. *Coolant* memiliki kandungan silikat yang rendah, bebas nitrit, amina dan postat. Titik didih *coolant* bisa mencapai sebesar 165°C. (Wahdani A. 2020)

2.7 Kalor

Kalor didefinisikan sebagai energi yang berpindah dari zat yang bersuhu tinggi ke zat yang bersuhu rendah. Satu kalori menyatakan banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg air sehingga suhunya naik sebesar 1°C. Kalor jenis didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan suhu 1 kg massa zat sebesar 1°C atau 1°K.

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Keterangan :

Q : Kalor yang diterima atau dilepas (J)

m : Massa zat (kg)

C_p : Kalor jenis ($J/kg^{\circ}C$)

ΔT : Perubahan temperatur ($^{\circ}C$)

(Wahyu Nur,2016)

2.8 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor merupakan peristiwa atau proses mengalirnya panas (kalor) dari satu titik ke titik yang lain dalam suatu medium. Berdasarkan medium yang dilaluinya peristiwa perpindahan kalor ini dibedakan menjadi 3 yaitu konduksi, konveksi, radiasi.

2.8.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi pada medium padat. Dalam perpindahan ini yang berpindah hanyalah kalor dan mediumnya tidak ikut berpindah.

$$Q = k \cdot A \frac{\Delta T}{x}$$

Keterangan :

Q : Laju perpindahan panas konduksi (J)

k : Konduktifitas panas bahan ($J/sm^{\circ}C$)

A : Luas permukaan (m^2)

ΔT : Perubahan temperatur ($^{\circ}C$)

x : Tebal bahan (m)

(Holman,1986)

Tabel 2. 1 Nilai konduktifitas termal bahan

NO	BAHAN	KONDUKTIFITAS TERMAL (W/m°C)
1	Tembaga	385
2	Karet	0,13
3	Plastik	0,03
4	Air	0,556

(Sumber : J.P. Holman,1986)

2.8.2 Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada medium cair dan gas. Berbeda dengan konduksi, perpindahan kalor ini disertai dengan perpindahan medium. Jadi yang bergerak tidak hanya kalor tetapi juga medium perambatannya.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Keterangan :

Q : Laju perpindahan panas konveksi (J)

h : Koefisien perpindahan panas konveksi (J/sm°C)

A : Luas permukaan (m²)

ΔT : Perubahan temperatur (°C)

(Holman,1986)

2.8.3 Radiasi

Berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi dimana perpindahan energinya terjadi melalui bahan antara, pada perpindahan kalor secara radiasi terjadi karena radiasi elektro magnetik atau daerahdaerah hampa. Mekanismenya berupa sinaran atau radiasi elektromagnetik. Pembahasan secara termodinamika menunjukkan bahwa penyinar ideal atau benda hitam, memancarkan energi dengan

laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

$$Q = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Keterangan:

Q : Laju perpindahan panas radiasi (J)

σ : Konstanta T Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

A : Luas penampang (m^2)

T : Suhu absolut benda ($^{\circ}\text{C}$)

(Holman,1986)

2.9 Kapasitas dan Kecepatan Aliran Fluida

Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan. (Ihwanda.2000)

$$Q = A \cdot V$$

Keterangan :

Q : Kapasitas aliran (m^3/s)

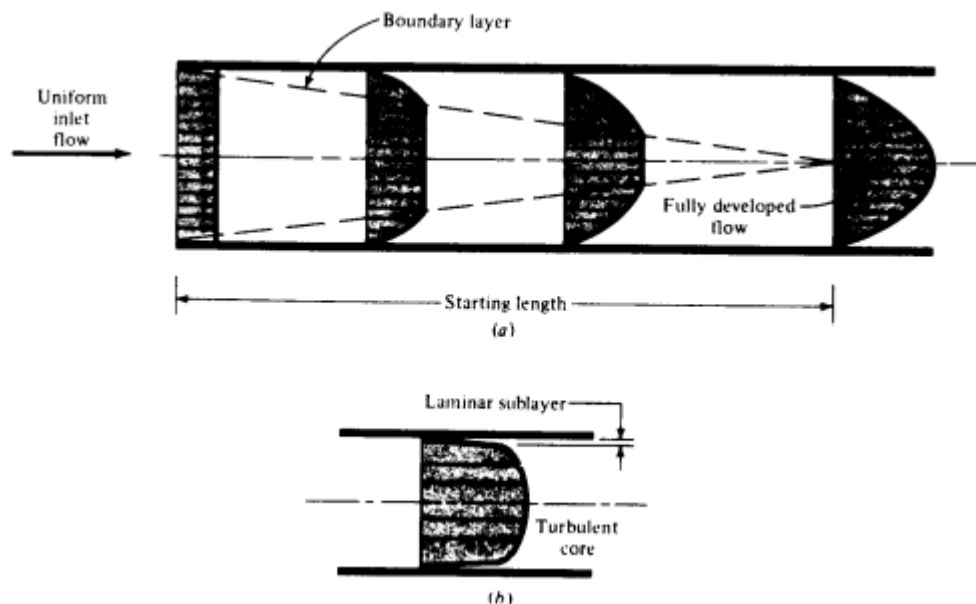
A : Luas penampang aliran (m^2)

V : Kecepatan aliran (m/s)

(Ihwanda,2000)

2.10 Jenis Aliran

Aliran fluida yang mengalir di dalam selang/pipa dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran dikatakan laminar jika partikel-partikel fluida yang bergerak mengikuti garis lurus yang sejajar selang dan bergerak dengan kecepatan sama. Aliran disebut turbulen jika tiap partikel fluida bergerak mengikuti lintasan sembarangan di sepanjang selang dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu selang.



Gambar 2. 4 (a) aliran laminar (b) aliran turbulen

(Sumber : Holman J.P. (1986. Hlm 210)

2.10.1 Bilangan Reynold (Re)

Dalam menentukan atau mengetahui tipe aliran harus melakukan perhitungan Reynold dengan mengetahui parameter-parameter yang diketahui besarnya. Bilangan Reynold (Re) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot V}{\mu} \quad \text{atau} \quad Re = \frac{d \cdot V}{\nu}$$

Keterangan :

- Re : Bilangan Reynold
- d : Diameter (m)
- V : Kecepatan aliran (m/s)
- μ : Viskositas dinamik ($\times 10^{-3}$ kg/m.s)
- ν : Viskositas kinematic ($\times 10^{-6}$ m²/s)

(Holman.1986)

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminer. Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

Pada $Re = 2300 - 4000$ terdapat daerah transisi, dimana aliran dapat bersifat laminer atau turbulen tergantung pada kondisi pipa dan aliran.(Holman,1986)

Tabel 2. 2 Nilai – nilai viskositas air

Temperature T (°C)	Specific Weight γ (kN/m ³)	Density ^a ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity ^b μ ($\times 10^{-3}$ kg/m.s)	Kinematic Viscosity ν ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	Surface Tension ^c σ (N/m)	Modulus of Elasticity ^a E ($\times 10^9$ N/m ²)	Vapor Pressure P_v (kN/m ²)
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0765	1.98	0.61
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	2.05	0.87
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	2.10	1.23
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	2.15	1.70
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.17	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	2.22	3.17
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	2.25	4.24
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	2.28	7.38
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	2.29	12.33
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	2.28	19.92
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	2.25	31.16
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	2.20	47.34
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	2.14	70.10
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	2.07	101.33

(Sumber: Kerry J.Howe ,dkk, John Wiley & Sons, Inc. (2012)

2.10.2 Bilangan Prandtl (Pr)

Bilangan Prandtl (Pr) merupakan suatu nilai / harga yang dipakai untuk menentukan distribusi temperatur pada suatu aliran. Selain itu bilangan prandtl merupakan perbandingan dari viskositas kinematik (ν) terhadap termal difusivitas (α). Bilangan prandtl merupakan ukuran efektifitas relatif dari momentum dan perpindahan energi secara difusi dengan kecepatan pada lapisan batas termal.

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu \cdot cp}{k}$$

Keterangan :

Pr : Bilangan Prandtl

v : Viskositas kinematic

α : Termal difusivitas

μ : Viskositas dinamik

cp : Kalor spesifik atau kalor jenis zat (J/kg°C), kalor jenis air 4200 J/kg°C

k : Konduktivitas kalor fluida (W/m°C)

(Dwi Arif, 2017)

2.10.3 Bilangan Nusselt (Nu)

Komponen konduktif diukur di bawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida stagnan atau tidak bergerak. Aliran panas konduksi dan konveksi sifatnya sejajar satu sama lainnya dan terhadap permukaan normal terhadap bidang batas.

$$Nu = 0,023Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

Keterangan :

Nu : Bilangan Nusselt

Re : Bilangan Reynold

Pr : Bilangan Prandtl

n : 0,3 untuk pendinginan

n : 0,4 untuk pemanasan

(Dwi Arif, 2017)

2.11 Korelasi Dittus-Boelter

Korelasi yang khusus namun sederhana dan biasa digunakan pada berbagai aplikasi adalah korelasi pindah panas Dittus-Boelter untuk fluida dalam aliran turbulen. Korelasi ini dapat digunakan ketika konveksi adalah satu-satunya cara dalam memindahkan panas, tidak ada perubahan fase, dan tidak ada radiasi yang signifikan.

$$h = Nu \frac{k}{d}$$

Keterangan :

h : Koefisien konveksi (W/m°C)

Nu : Bilangan Nusselt

k : Konduktivitas termal (W/m°C)

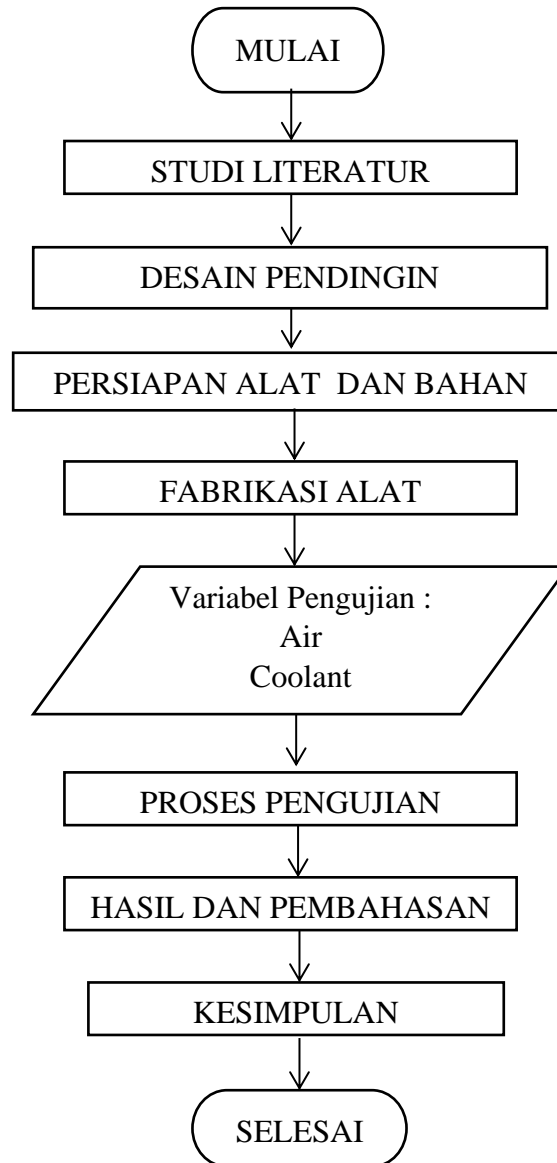
d : Diameter pipa (m)

(Dwi Arif, 2017)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



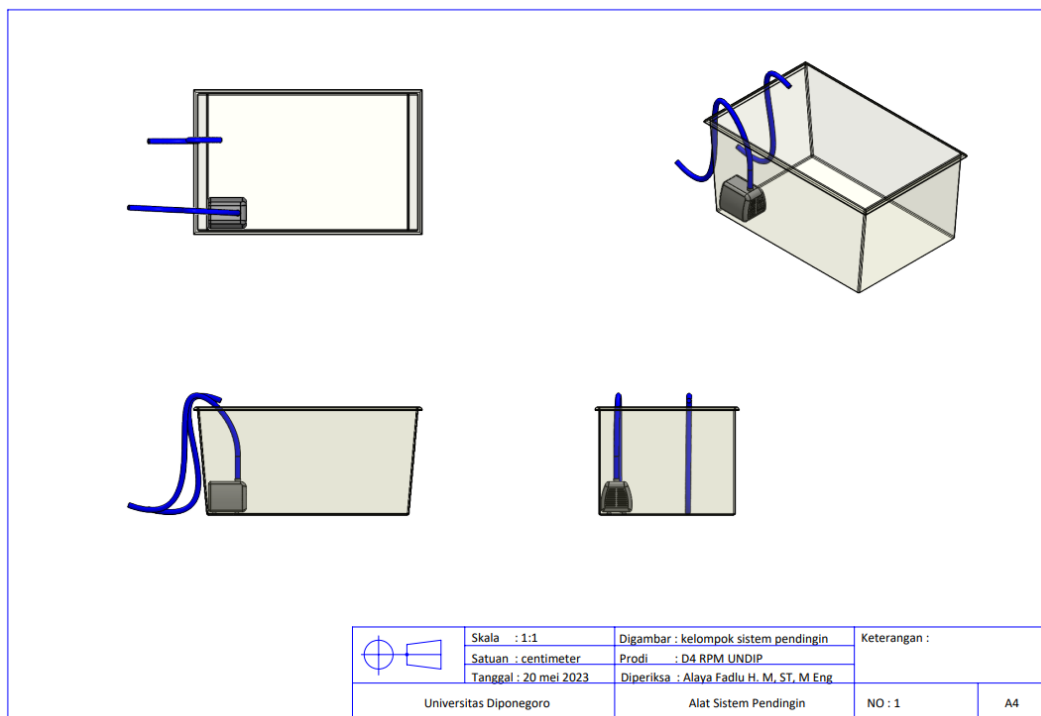
Gambar 3. 1 Diagram alir

Tahapan penyelesaian proyek akhir dapat digambarkan dalam suatu diagram alir yang tersaji pada gambar 3.1. Untuk mencapai tujuan dari Tugas Akhir, tahapan kegiatan disusun meliputi :

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan kajian literatur jurnal, karya tulis ilmiah, buku maupun yang berada di internet dan dari banyak sumber referensi serta kajian pustaka untuk mendapatkan informasi sebagai dasar perancangan serta pemilihan bahan yang diperlukan dalam rancang bangun sistem pendingin pada mesin spot welding.

3.3 Desain Pendingin



Gambar 3. 2 Proyeksi amerika alat sistem pendingin

(Sumber : Solidwork 2017)

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan sistem pendingin dapat diligat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Peralatan pembuatan alat

NO	ALAT
1	Mesin Las Titik DN-05
2	Obeng
3	Thermometer Digital
4	Tang
5	Tang Ampere

a. Mesin Las Titik DN-5

Mesin Las Titik disini adalah sebagai senjata utama dalam penelitian ini. Spot Welding atau las titik sendiri merupakan cara pengelasan resistansi listrik dimana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara dua elektroda logam dibawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan. Prinsip kerja dari alat ini adalah menggunakan transformator sebagai media pemanas dengan mengubah tegangan input yang semula besar menjadi kecil dan mengubah kuat arus menjadi lebih besar. Mesin Las titik ini memiliki beberapa komponen pendukung, adapun komponen tersebut yaitu berupa sistem kelistrikan, rangka mesin, pijakan, shaft, pegas tarik, pegas tekan, bushing, gagang bawah, gagang atas, dan cover. Pengoperasiannya adalah dengan meletakkan kedua plat diantara kedua ujung tembaga kemudian injak tuas agar mesin bekerja hingga plat tersambung.



Gambar 3. 3 Mesin las titik DN-5

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas Diponegoro_)

Spesifikasi mesin las titik tipe DN-05 dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin las titik tipe DN-5

Spesifikasi Las Titik DN-5	
<i>Rated Power</i>	5 KVA
<i>Mains input Voltage</i>	220 V
<i>Rated input Current</i>	28 A
<i>Second empty load Voltage</i>	1.09 V – 1.8 V
<i>Duty cycle rating</i>	20%
<i>Adjustable class number</i>	6 class
<i>Max Welding thickness of low Carbon Steel</i>	1.8 + 1.8 mm

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas Diponegoro)

Bagian – bagian utama mesin las titik DN-05 ini ialah sebagai berikut:

- Gagang elektroda, terdiri dari gagang atas dan bawah yang memiliki kegunaan untuk memegang elektroda.



Gambar 3. 4 Gagang elektroda

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas Diponegoro)

- *Foot Pedal*, digunakan untuk menggerakkan gagang elektroda atas dalam eksekusi penekanan.



Gambar 3. 5 Foot pedal

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas Diponegoro)

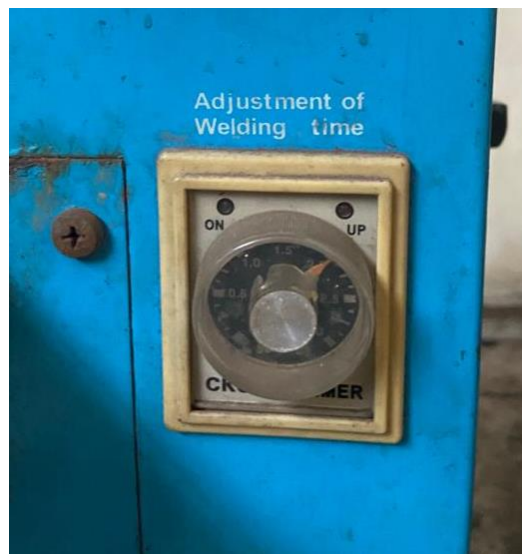
- Elektroda, konduktor bertenaga listrik memiliki kegunaan menekan dan mengalirkan listrik pada sambungan logam sehingga mencairkan logam dan tersambung.



Gambar 3. 6 Elektroda

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas
Diponegoro)

- *Adjustment of Welding Time*, berfungsi sebagai pengatur waktu saat pengelasan.



Gambar 3. 7 Adjustment of welding time

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas
Diponegoro)

- *Adjustment of Welding Voltage*, berfungsi sebagai pengatur tegangan saat pengelasan.



Gambar 3. 8 Adjustment of welding voltage

(Sumber: Lab Mesin Rekayasa Perancangan Mekanik Universitas
Diponegoro)

b. Obeng

Obeng adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengencangkan atau mengendorkan baut. Ada beberapa model obeng yang digunakan di seluruh dunia. Jenis yang sangat umum di Indonesia adalah model Phillips yang populer disebut obeng kembang atau plus (+) dan slotted yang sering disebut obeng minus (-).



Gambar 3. 9 Obeng

(Sumber: <https://salamadian.com/macam-macam-obeng/>)

c. Termometer

Termometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suhu ataupun alat yang digunakan untuk menyatakan derajat dingin atau panas suatu benda. Alat ini memanfaatkan termometrik dari zat, yaitu perubahan dari sifat-sifat zat yang disebabkan karena perubahan sesuatu dari zat tersebut.



Gambar 3. 10 Termometer digital

(Sumber: <https://kisstores.com/produk/18239/>)

d. Tang

Tang adalah peralatan bengkel yang khusus digunakan untuk memegang, memotong, melepas, dan memasang bahan kerja. Jenis tang bermacam - macam, diantaranya tang kombinasi, tang lancip, dan tang potong. Pada penelitian ini, menggunakan tang kombinasi digunakan untuk melepas dan memegang logam plat setelah dilas.

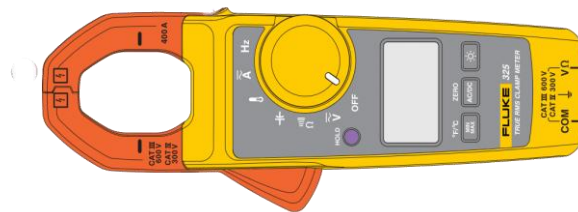


Gambar 3. 11 Tang kombinasi

(Sumber: <https://siplah Telkom.com>)

e. Tang Ampere

Clamp meter atau tang ampere berfungsi untuk mengukur tegangan/ kuat arus pada konduktor. Alat ini memiliki lengan yang berbentuk seperti rahang atau capit berukuran besar yang dapat dibuka tutup untuk memasukan konduktor sehingga besaran tegangan/ kuat arusnya dapat diukur.



Gambar 3. 12 Tang ampere

(Sumber: <https://www.plcdroid.com>)

3.4.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan mesin pendingin dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Bahan pembuatan alat

NO	BAHAN
1	Box Kontainer Plastik
2	Selang Air ½ Inch
3	Air
4	Pompa Air
5	Klem Selang
6	<i>Coolant</i>

a. Box Kontainer Plastik

Box kontainer plastik digunakan sebagai media atau wadah untuk menampung air. Ukuran yang digunakan ; panjang 54 cm, lebar 36,5 cm, dan tinggi 29 cm.



Gambar 3. 13 Box kontainer plastik

(Sumber: <https://www.tokopedia.com/multindoplastik/xavier-kontainer-box-serbaguna-30-liter-hitam>)

b. Selang Air ½ Inch

Selang ini berfungsi untuk mengalirkan cairan pendingin atau water coolant agar suhu mesin tetap terjaga dengan baik. Jadi fungsi utamanya sebenarnya hanya menghubungkan antara pompa celup dan mesin spot welding agar mesin tidak terlalu panas.



Gambar 3. 14 Selang air ½ inch

(Sumber: <https://www.bukalapak.com/products/s/selang-bening-1-2-inch>)

c. Air

Air adalah cairan tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa yang mengandung H₂O, digunakan sebagai standar berat jenis dan panas jenis. Pada tekanan dan temperatur udara standar titik didih air sebesar 100°C.

d. Pompa Air

Pompa air yaitu pompa yang memiliki fungsi untuk memindahkan cairan atau air. Cairan tersebut dipindahkan dari satu titik menuju titik yang lain. Pompa celup mempunyai ciri khas berupa motor penggerak yang terletak berdekatan atau bergabung dengan bagian badan pompa tersebut.



Gambar 3. 15 Pompa air

(Sumber: <https://www.suryaguna.com/pompa-air-listrik-pompa-kolam-ikan-koi-listrik-2-inc.html>)

Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa

Spesifikasi Pompa GA-103	
Model	GA-103
<i>VOLTAGE</i>	220-240V
<i>Frequency</i>	50/60Hz
<i>Power</i>	12W
Total Head	1,7m
<i>Output</i>	2000L/H

(Sumber : <https://tokopedia.link/e6dpMBpvZBb>)

e. Klem Selang

Klem atau Clamp mempunyai istilah pengikat selang atau hose clamp. Dalam hal ini merupakan jenis pengikat yang berperan menjaga sambungan agar tidak mudah terlepas. *Hose Clamp* ada yang dapat digunakan secara permanen atau menempel dalam waktu yang lama dan ada juga yang hanya digunakan dan dilepas secara berkala.



Gambar 3. 16 Klem selang

(Sumber: <https://www.bukalapak.com/p/industrial/industrial-lainnya/ehlqq-jual-klem-selang-stainless-steel-ss-taiwan-1-2-3-4-5-8-7-8>)

f. *Coolant*

Coolant adalah cairan pendingin yang memiliki titik beku yang rendah dan titik didih yang tinggi sehingga dapat mencegah mesin dari panas yang berlebih.



Gambar 3. 17 *Coolant*

3.5 Fabrikasi Alat

Proses fabrikasi adalah proses pengolahan beberapa komponen material yang akan dibentuk untuk menghasilkan sebuah rangkaian alat produksi. Proses fabrikasi tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Alat Sistem Pendingin Pada Mesin Spot Welding DN-5” ini dilaksanakan di balai karya rekayasa perancangan mekanik universitas diponegoro.



Gambar 3. 18 Alat sistem pendingin

a. Mencari Jenis Aliran

- Kecepatan Aliran (V)

Diketahui :

$$Q = 2000L/H=0,000055 \text{ m}^3/s$$

$$D = \frac{1}{2} \text{ Inch} = 0,0127 \text{ m}$$

Ditanya v?

Jawab :

$$\begin{aligned} A &= \pi \frac{D^2}{4} \\ &= 3,14 \frac{0,0127^2}{4} \text{ m}^2 \\ &= 0,000126 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,000055}{0,000126}$$

$$= 0,4 \text{ m}^2/\text{s}$$

➤ Bilangan Reynold (Re)

Diketahui :

$$V = 0,4 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\nu = 0,800 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (Tabel 2.2 asumsi suhu lingkungan } 30^\circ\text{C)}$$

$$d = 0,0127 \text{ m}$$

Ditanya Re?

Jawab :

$$\text{Re} = \frac{d \cdot V}{\nu}$$

$$= \frac{0,0127 \cdot 0,4}{0,800 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 6350$$

Re > 4000 , maka aliran bersifat turbulen.

3.6 Variabel Parameter

Variabel parameter yang akan digunakan untuk pengujian terdiri dari media yang digunakan air dan *coolant*. Parameter yang digunakan memvariasikan ukuran volume air penampungan air yaitu; 5L, 10L dan 15L.

Tabel 3. 5 Variabel parameter

Volume (L)	Waktu (s)	Tegangan Output (v)	Arus Input (A)
5	2	1,80	36
10	2	1,80	36
15	2	1,80	36

3.7 Proses Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menguji apakah alat sistem pendingin dapat mencapai suhu yang stabil serta membandingkan media air dengan *coolant*. Pengujian adalah dengan cara mengalirkan air dan *coolant* menuju elektroda, suhu yang masuk dan keluar ke penampungan air dicatat. Setiap pengelasan dilakukan selama 2 detik dan jeda setiap pengelasan 10 detik dengan tegangan 1,80V. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan volume air 5L, 10L dan 15L.

3.7.1 Perhitungan Efisiensi Sistem Pendingin

Efisiensi sistem pendingin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{out}} \times 100\%$$

Keterangan :

η ; Efisiensi sistem pendingin

Q_{in} : Kalor yang diserap (J)

Q_{out} : Kalor yang dilepas (J)

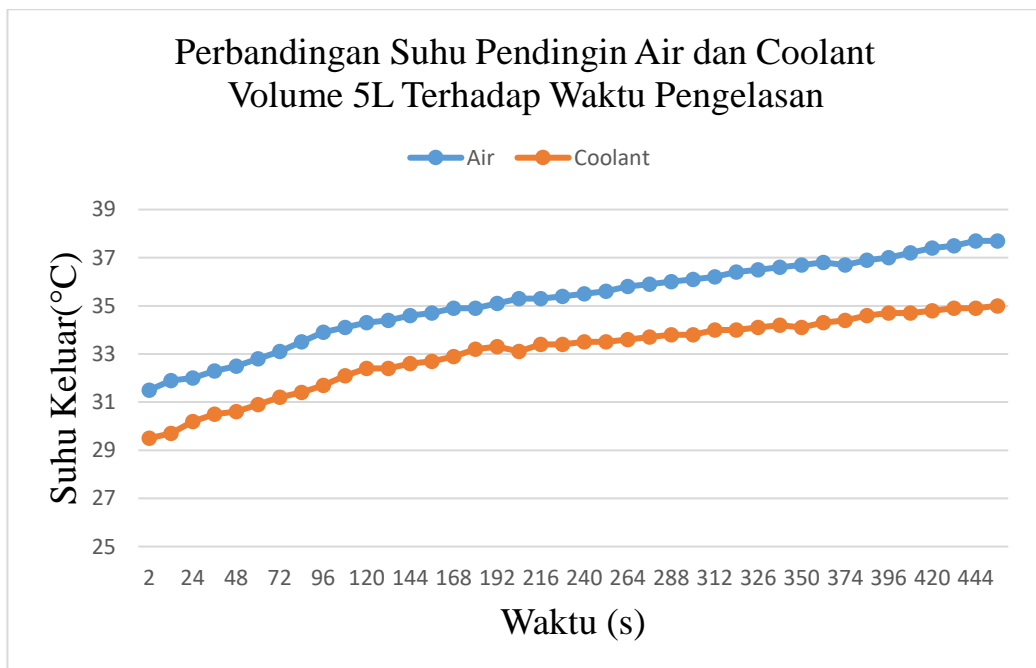
(Duffie, Jhon A. 2013)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hubungan Antara Waktu Pengelasan Dengan Suhu Pendingin

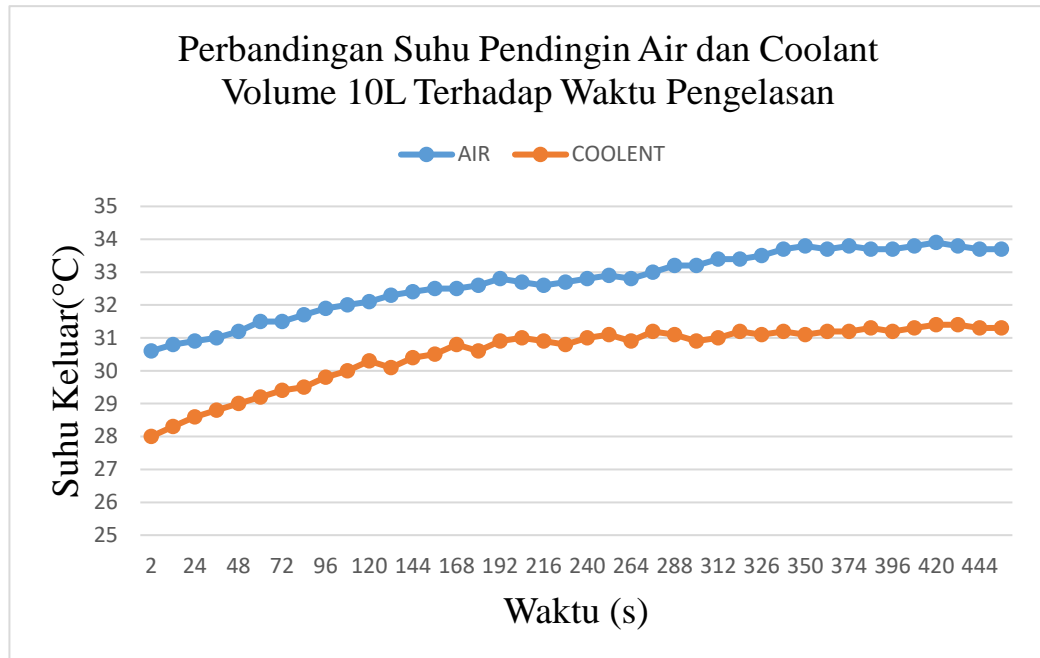
Setelah dilakukan pengujian pendinginan pada elektroda pengelasan *spot welding* menggunakan media air dan *coolant* diperoleh data yang berupa suhu masuk ($^{\circ}\text{C}$) dan suhu keluar ($^{\circ}\text{C}$) yang diambil pada saat air atau *coolant* mengalir masuk dan keluar melewati elektroda pengelasan. Pengujian tersebut dilakukan sebanyak 40 kali untuk pendinginan pada elektroda menggunakan media air dan media *coolant*, pengelasan dilakukan dengan waktu setiap pengelasan 2 detik dan jeda waktu setiap antara pengelasan 10 detik. Data hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran 1, lampiran 2, dan lampiran 3.



Gambar 4. 1 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan *coolant* volume 5L

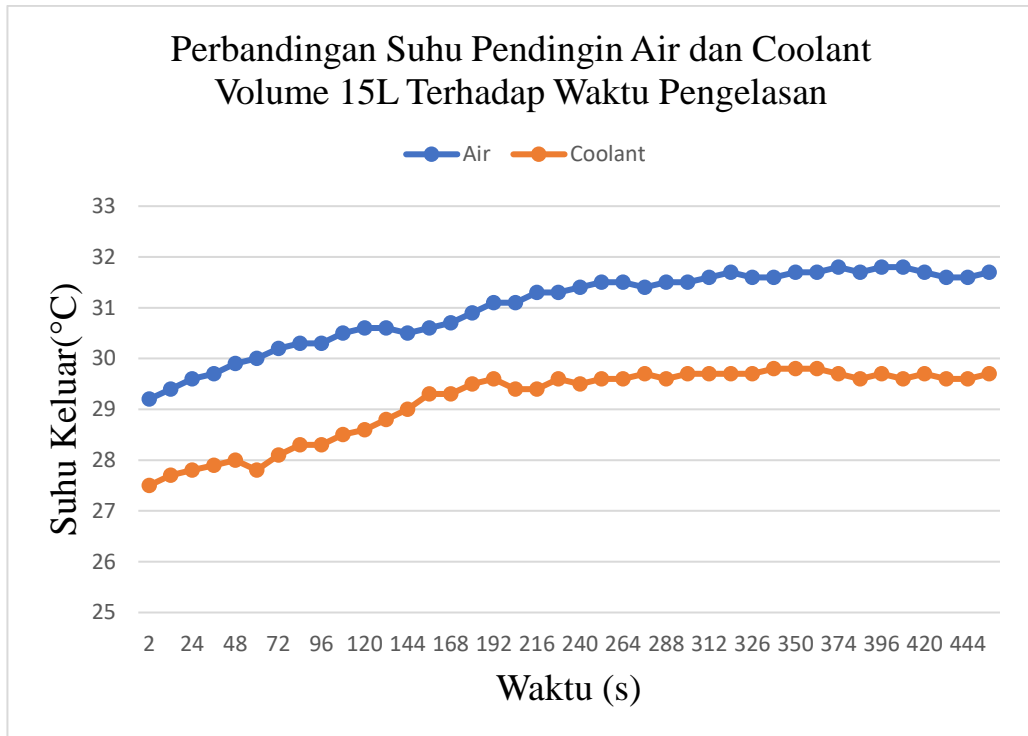
Dari grafik diatas dapat dilihat pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media air dan coolant belum menemukan titik kestabilan. Jadi jika pengelasan dilakukan dengan pendinginan volume 5L dalam waktu yang cukup

lama dapat mengalami resiko overheat atau keausan pada elektroda dan pengelasan yang dihasilkan kurang maksimal.



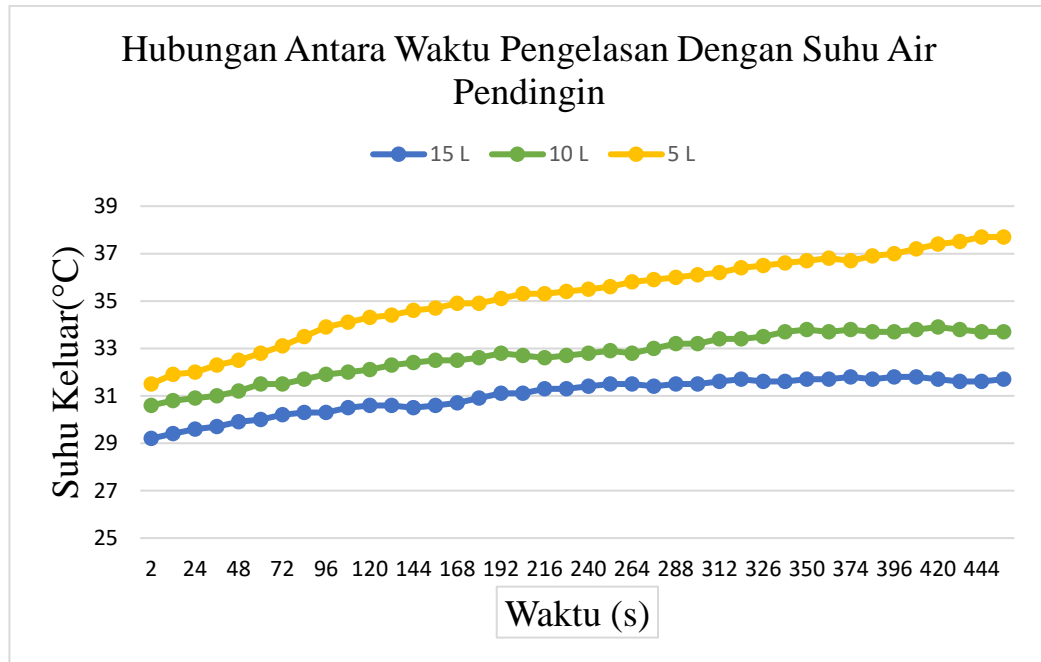
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan *coolant* volume 10L

Dari grafik diatas dapat dilihat pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media *coolant* lebih stabil dibanding dengan pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media air. Pendinginan menggunakan media *coolant* titik kestabilannya terjadi pada pengelasan ke 24 detik ke 276 dan pendinginan menggunakan media air titik kestabilannya terjadi pada pengelasan ke 31 detik ke 350.



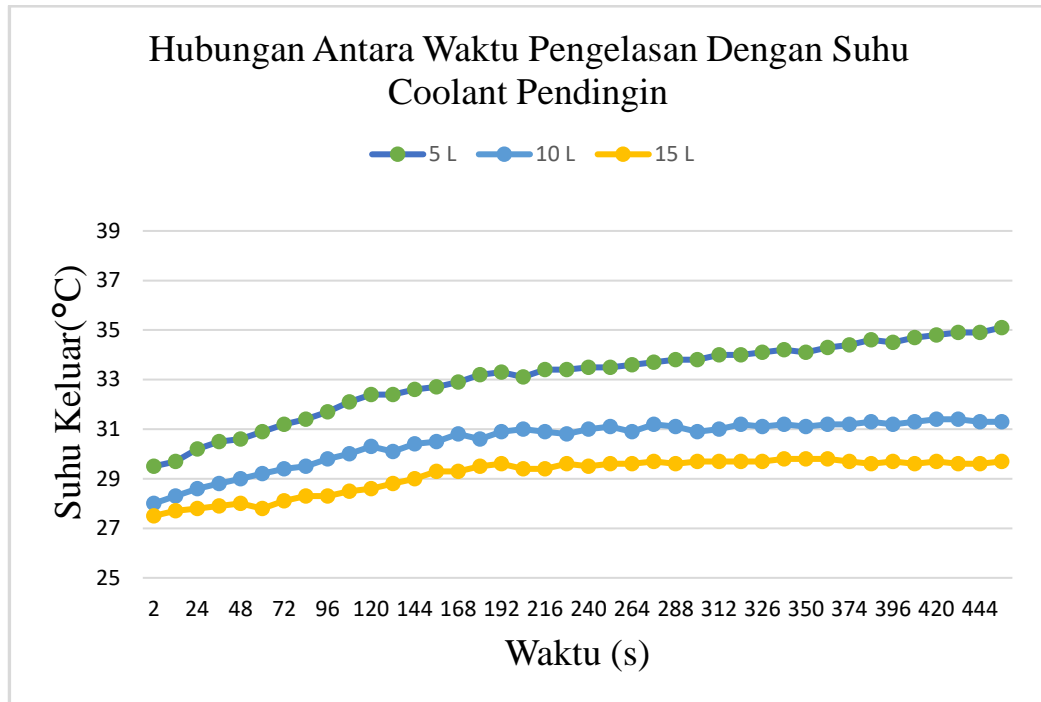
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan suhu pendingin air dan *coolant* volume 15L

Dari grafik diatas dapat dilihat pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media coolant lebih stabil dibanding dengan pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media air. Pendinginan menggunakan media coolant titik kestabilannya terjadi pada pengelasan ke 17 detik ke 192 dan pendinginan menggunakan media air titik kestabilannya terjadi pada pengelasan ke 26 detik ke 300.



Gambar 4. 4 Grafik suhu air pendingin terhadap waktu pengelasan

Dari grafik diatas dapat dilihat pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media air. Pada volume 5L mengalami kenaikan suhu yang sangat signifikan, dapat terlihat dari grafik untuk volume 5L suhu terus naik selama 40 kali pengelasan. Pada volume 10L mulai mengalami kestabilan suhu pada pengelasan ke 31 detik ke 350, sedangkan pada volume 15L suhu mulai mengalami kestabilan pada pengelasan ke 26 detik ke 300. Sehingga semakin bertambahnya volume air pada proses pendinginan elektroda akan lebih stabil dan dapat menghindari *overheat* atau *keausa* pada elektroda selama proses pengelasan yang cukup lama.



Gambar 4. 5 Grafik suhu *coolant* pendingin terhadap waktu pengelasan

Dari grafik diatas dapat dilihat pendinginan pada elektroda pengelasan menggunakan media coolant. Pada volume 5L mengalami kenaikan suhu yang cukup signifikan, dapat terlihat dari grafik untuk volume 5L suhu terus naik selama 40 kali pengelasan. Pada volume 10L mulai mengalami kestabilan suhu pada pengelasan ke 24 detik ke 276, sedangkan pada volume 15L suhu mulai mengalami kestabilan pada pengelasan ke 17 detik ke 192. Sehingga semakin bertambahnya volume coolant pada proses pendinginan elektroda akan lebih stabil dan dapat menghindari *overheat* atau keausa pada elektroda selama proses pengelasan yang cukup lama.

4.2 Hasil Analisa Perpindahan Kalor

Setelah pengujian alat dan pengumpulan data, dapat dilakukan analisa mengenai perpindahan kalor yang terjadi disetiap medium, yaitu : konduksi pada

selang, konduksi pada penampungan air, konveksi pada penampungan air, dan kalor yang masuk pada elektroda.

4.2.1 Perhitungan Konduksi Pada Selang

Perpindahan kalor yang terjadi pada selang dapat dihitung dengan persamaan konduksi sebagai berikut :

Diketahui :

$$K_{\text{rubber}} = 0,13 \text{ J/sm}^\circ\text{C}$$

$$D = \frac{1}{2} \text{ Inch} = 0,0127 \text{ m}$$

$$T_{\text{in}} = 28,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 33,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$$

Ditanya Q_a ?

Jawab :

$$Q_a = K \cdot A \frac{\Delta T}{x}$$

$$Q_a = K \cdot \pi \frac{D^2}{4} \frac{(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{x}$$

$$Q_a = 0,13 \cdot 3,14 \frac{0,0127^2}{4} \cdot \frac{(33,8 - 28,1)}{0,003}$$

$$Q_a = 0,837 \text{ J}$$

4.2.2 Perhitungan Konduksi Pada Penampungan Air

Perpindahan kalor yang terjadi pada penampungan air yang berupa box kontainer terbuka dapat dihitung dengan persamaan konduksi sebagai berikut :

Diketahui :

$$K_{\text{plastik}} = 0,03 \text{ J/sm}^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ling}} = 30^\circ\text{C} \text{ (Asumsi suhu lingkungan)}$$

$$T_{\text{air}} = 28,1^{\circ}\text{C}$$

$$p = 54 \text{ cm} = 0,54 \text{ m}$$

$$l = 36,5 \text{ cm} = 0,365 \text{ m}$$

$$t = 29 \text{ cm} = 0,29 \text{ m}$$

$$x = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

Ditanya Q_b ?

$$Q_b = K \cdot A \frac{\Delta T}{x}$$

$$Q_b = K \cdot (2(lt + pt) + pl) \cdot \frac{(T_{\text{ling}} - T_{\text{air}})}{x}$$

$$Q_b = 0,03 \cdot (2(0,365 \cdot 0,29 + 0,54 \cdot 0,29) + 0,54 \cdot 0,365) \cdot \frac{(30 - 28,1)}{0,002}$$

$$Q_b = 0,03 \cdot 0,72 \cdot \frac{1,9}{0,002}$$

$$Q_b = 12,91 \text{ J}$$

4.2.3 Perhitungan Konveksi Pada Penampungan Air

Perpindahan kalor yang terjadi pada air 10 liter yang ada di penampungan air dapat dihitung dengan persamaan konveksi sebagai berikut :

Diketahui :

$$Re = 6350$$

$$K_{\text{air}} = 0,556 \text{ J/sm}^{\circ}\text{C}$$

$$\mu = 0,798 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$$

$$c_p = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 28,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 33,8^{\circ}\text{C}$$

$$p = 54 \text{ cm} = 0,54 \text{ m}$$

$$l = 36,5 \text{ cm} = 0,365 \text{ m}$$

$$t = 5,1 \text{ cm} = 0,051 \text{ m}$$

$$n = 0,3 \text{ pendinginan}$$

$$D = \frac{1}{2} \text{ Inch} = 0,0127 \text{ m}$$

Ditanya :

a. h (koefisien konveksi) ?

b. Q_c ?

Jawab :

$$a. \quad h = Nu \frac{k}{D}$$

$$\rightarrow \quad Pr = \frac{\mu \cdot cp}{k}$$

$$Pr = \frac{0,798 \times 10^{-3} \cdot 4200}{0,556}$$

$$Pr = 6,02$$

$$\rightarrow \quad Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

$$Nu = 0,023 \cdot 6350^{0,8} \cdot 6,02^{0,3}$$

$$Nu = 43,43$$

$$\therefore h = Nu \frac{k}{D}$$

$$\therefore h = 43,43 \cdot \frac{0,556}{0,0127}$$

$$\therefore h = 1901,3 \text{ J/sm}^\circ\text{C}$$

$$b. \quad Q_c = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Q_c = 1901,3 \cdot (2(0,365 \cdot 0,05 + 0,54 \cdot 0,365 + 0,54 \cdot 0,05)) \cdot (33,8 - 28,1)$$

$$Q_c = 3829,87 \text{ J}$$

4.2.4 Perhitungan Kalor Yang Diserap Air

Kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$T_{in} = 28,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 33,8^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{air}} = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 2000 \text{ L/h} = 0,00055 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{air} = 998 \text{ Kg/m}^3$$

Ditanya Q_{in} kalor yang diserap air?

Jawab :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\dot{m} = 998 \cdot 0,00055$$

$$\dot{m} = 0,54 \text{ kg/s}$$

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{in} = 0,54 \cdot 4200 \cdot (33,8 - 28,1)$$

$$Q_{in} = 7796,37 \text{ J}$$

4.2.5 Perhitungan Kalor Yang Dilepas Elektroda

Kalor yang dilepas elektroda pengelasan menggunakan media pendingin air pada pengelasan ke 31 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$C_{p_{temb}} = 390 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$T_{elektroda} = 67,2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ling}} = 30^{\circ}\text{C} \text{ (asumsi sama suhu lingkungan)}$$

Ditanya Q_{out} ?

Jawab :

$$Q_{\text{out}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{out}} = 0,5 \cdot 390 \cdot (67,2 - 30)$$

$$Q_{\text{out}} = 7254 \text{ J}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa kalor yang dilepas oleh elektroda sebesar 7254 J, untuk kalor yang dilepas 2 elektroda yaitu 7254×2 sebesar 14508 J

4.2.6 Efisiensi Sistem Pendingin Menggunakan Media Air

Diketahui :

$$Q_{\text{in}} = 7796,37 \text{ J}$$

$$Q_{\text{out}} = 14508 \text{ J}$$

Ditanya η ?

Jawab :

$$\eta = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{out}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7796,37}{14508} \times 100\%$$

$$\eta = 53,73\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa efisiensi sistem pendingin pada elektroda menggunakan media air yang dihasilkan adalah sebesar 53,73%.

4.2.7 Perhitungan Kalor Yang Diserap *Coolant*

Kalor yang diserap oleh *coolant* dengan kandungan air 80% dan etilene glikol 20% dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$T_{in} = 27,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 31,2^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{air}} = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{Eg}} = 2382 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{air} = 998 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{Eg} = 1110 \text{ Kg/m}^3$$

$$Q = 2000\text{L/h} = 0,00055 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ditanya Q_{in} kalor yang diserap *coolant*?

Jawab :

$$\text{➤ } C_{p_{coolant}} = C_{p_{air}} 80\% + C_{p_{Eg}} 20\%$$

$$C_{p_{coolant}} = 4200 \cdot 80\% + 2382 \cdot 20\%$$

$$C_{p_{coolant}} = 3836,4 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{➤ } \rho_{coolant} = \rho_{air} \cdot 80\% + \rho_{Eg} \cdot 20\%$$

$$\rho_{coolant} = 998 \cdot 80\% + 1110 \cdot 20\%$$

$$\rho_{coolant} = 1020,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{➤ } \dot{m} = \rho_{coolant} \cdot Q$$

$$\dot{m} = 1020,4 \cdot 0,00055$$

$$\dot{m} = 0,51 \text{ kg/s}$$

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{in} = 0,51 \cdot 3836,4 \cdot (31,2 - 27,3)$$

$$Q_{in} = 7633,5 \text{ J}$$

4.2.8 Perhitungan Kalor Yang Dilepas Elektroda

Kalor yang dilepas elektroda pengelasan menggunakan media pendingin *coolant* pada pengelasan ke 31 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Diketahui :

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$C_{p_{\text{temb}}} = 390 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{elektroda}} = 52,9^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ling}} = 30^\circ\text{C} \text{ (asumsi sama suhu lingkungan)}$$

Ditanya Q_{out} ?

Jawab :

$$Q_{\text{out}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{out}} = 0,5 \cdot 390 \cdot (52,9 - 30)$$

$$Q_{\text{out}} = 4465,5 \text{ J}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa kalor yang dilepas oleh elektroda sebesar 4465,5 J, untuk kalor yang dilepas 2 elektroda yaitu $4465,5 \times 2$ sebesar 8931 J.

4.2.9 Efisiensi Sistem Pendingin Menggunakan Media *Coolant*

Diketahui :

$$Q_{\text{in}} = 7633,5 \text{ J}$$

$$Q_{\text{out}} = 8931 \text{ J}$$

Ditanya η ?

Jawab :

$$\eta = \frac{Q_{\text{in}}}{Q_{\text{out}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7633,5}{8931} \times 100\%$$

$$\eta = 85,4\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa efisiensi sistem pendingin pada elektroda menggunakan media *coolant* yang dihasilkan adalah sebesar 85,4%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Pendinginan pada elektroda menggunakan media *coolant* lebih stabil dari pada pendinginan menggunakan media air.
2. Semakin besar volume air atau *coolant* pada proses pendinginan elektroda yang digunakan maka tingkat kestabilan semakin tinggi.
3. Dari hasil perhitungan efisiensi sistem pendinginan pada elektroda menggunakan media air sebesar 53,73% dan menggunakan media *coolant* sebesar 85,4%.

5.2 Saran

1. Apabila alat sistem pendingin tidak sedang digunakan sebaiknya tempat penampungan ditutup untuk menghindari kotoran bercampur dengan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Susanto,REW. 2013. Rancang Bangun Mesin Pendingin Pada Mesin Las Titik Statonary Dengan Sistem Aliran Closed Flow. Jurnal Teknik.vol. 2,no. 1
- Soetanto,M.F. 2010. Mekanika Fluida. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Daryanto. 2012. Teknik Las. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Sulaiman, I., & El Husna, N. 2012. Perpindahan Kalor dan Massa. Syiah Kuala University Press.
- Ardiyanto, E. 2011. Studi Pengaruh Pendinginan Elektroda Pada Proses Spot Welding Terhadap Kualitas Produk (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hendrawan, M. A. 2011. STUDI KOMPARASI KUALITAS PRODUK PENGELASAN SPOT WELDING DENGAN PENDINGIN DAN NON-PENDINGIN ELEKTRODA. Prosiding Sains Nasional dan Teknologi, 1.
- Agung,W. 2020. Pengaruh *Water Coolant* Terhadap Efektifitas Radiator Mesin Diesel Isuzu Phanter. Universitas Islam Riau.
- Wahyu,N.A. 2016. PENGEMBANGAN LEMBAR KERJA SISWA (LKS) BERBASIS DISCOVERY LEARNING UNTUK MENINGKATAKAN LIFE SKILL SISWA SMA PADA POKOK BAHASAN SUHU DAN KALOR. Universitas Negeri Semarang.
- Holman,J.P. 1986. *Heat Transfer 6 Edition*. Singapur. McGraw-Hill Book Company
- Dwi,A.S. 2017. Analisis Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Distribusi Temperatur Aliran Fluida pada Heat Exchanger Counter Flow Menggunakan Solidworks. Universitas Gunadarma.

Iwan, YW. 2008. Analisa Aliran Berkembang Pada Fluida Cair dan Gas. Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data pengujian media air dan *coolant* volume 5L

Waktu	Volume 5L Air		Volume 5L Coolant	
	IN	OUT	IN	OUT
2	26,8	31,5	27,3	29,5
12	27	31,9	27,3	29,7
24	27,2	32	27,3	30,2
36	27,3	32,3	27,3	30,5
48	27,5	32,5	27,3	30,6
60	27,9	32,8	27,3	30,9
72	28	33,1	27,3	31,2
84	28,3	33,5	27,3	31,4
96	28,9	33,9	27,4	31,7
108	29,1	34,1	27,4	32,1
120	29,4	34,3	27,5	32,4
132	29,4	34,4	27,5	32,4
144	29,5	34,6	27,5	32,6
156	29,7	34,7	27,6	32,7
168	29,6	34,9	27,7	32,9
180	29,7	34,9	27,7	33,2
192	29,8	35,1	27,8	33,3
204	29,9	35,3	27,8	33,1
216	30	35,3	28	33,4
228	30	35,4	28	33,4
240	30,1	35,5	28	33,5
252	30,2	35,6	28,1	33,5
264	30,2	35,8	28,2	33,6
276	30,3	35,9	28,2	33,7
288	30,4	36	28,3	33,8
300	30,5	36,1	28,3	33,8
312	30,6	36,2	28,4	34
324	30,6	36,4	28,4	34
326	30,7	36,5	28,4	34,1
338	30,8	36,6	28,5	34,2
350	30,9	36,7	28,5	34,1
362	31	36,8	28,6	34,3
374	31	36,7	28,6	34,4
386	31,1	36,9	28,6	34,6
396	31,2	37	29,7	34,5
408	31,3	37,2	29,5	34,7
420	31,4	37,4	29,7	34,8
432	31,4	37,5	30	34,9
444	31,5	37,7	30	34,9
456	31,6	37,7	30,2	35,1

Lampiran 2. Data pengujian media air dan *coolant* volume 10L

Waktu	Volume 10L Air		Volume 10L Coolant	
	IN	OUT	IN	OUT
2	26,9	30,6	26,6	28
12	26,9	30,8	26,6	28,3
24	27	30,9	26,6	28,6
36	27,1	31	26,6	28,8
48	27,2	31,2	26,6	29
60	27,2	31,5	26,6	29,2
72	27,3	31,5	26,6	29,4
84	27,5	31,7	26,7	29,5
96	27,7	31,9	26,7	29,8
108	27,7	32	26,8	30
120	27,6	32,1	26,8	30,3
132	27,7	32,3	26,8	30,1
144	27,7	32,4	26,9	30,4
156	27,8	32,5	26,9	30,5
168	27,6	32,5	27	30,8
180	27,7	32,6	27	30,6
192	27,6	32,8	27,1	30,9
204	27,7	32,7	27,1	31
216	27,7	32,6	27,2	30,9
228	27,7	32,7	27,2	30,8
240	27,8	32,8	27,2	31
252	27,8	32,9	27,3	31,1
264	27,7	32,8	27,3	30,9
276	27,8	33	27,3	31,2
288	27,8	33,2	27,2	31,1
300	27,9	33,2	27,3	30,9
312	27,9	33,4	27,3	31
324	27,8	33,4	27,4	31,2
326	28	33,5	27,4	31,1
338	28	33,7	27,5	31,2
350	28,1	33,8	27,5	31,1
362	28	33,7	27,5	31,2
374	28,1	33,8	27,4	31,2
386	28,1	33,7	27,4	31,3
396	28,1	33,7	27,5	31,2
408	28,1	33,8	27,5	31,3
420	28,2	33,9	27,6	31,4
432	28,2	33,8	27,6	31,4
444	28,2	33,7	27,6	31,3
456	28,1	33,7	27,6	31,3

Lampiran 3 Data pengujian media air dan *coolant* volume 15L

Waktu	Volume 15L Air		Volume 15L Coolant	
	IN	OUT	IN	OUT
2	26,9	29,2	26,6	27,5
12	26,9	29,4	26,6	27,7
24	26,9	29,6	26,6	27,8
36	27	29,7	26,6	27,9
48	27,1	29,9	26,6	28
60	27,1	30	26,6	27,8
72	27,2	30,2	26,6	28,1
84	27,3	30,3	26,6	28,3
96	27,3	30,3	26,6	28,3
108	27,4	30,5	26,7	28,5
120	27,3	30,6	26,7	28,6
132	27,5	30,6	26,7	28,8
144	27,3	30,5	26,8	29
156	27,2	30,6	26,8	29,3
168	27,4	30,7	26,9	29,3
180	27,3	30,9	26,9	29,5
192	27,3	31,1	26,9	29,6
204	27,2	31,1	27	29,4
216	27,3	31,3	27	29,4
228	27,3	31,3	27	29,6
240	27,4	31,4	26,9	29,5
252	27,4	31,5	26,9	29,6
264	27,3	31,5	27	29,6
276	27,5	31,4	27	29,7
288	27,4	31,5	27,1	29,6
300	27,5	31,5	27,1	29,7
312	27,5	31,6	27,1	29,7
324	27,6	31,7	27,1	29,7
326	27,6	31,6	27,1	29,7
338	27,5	31,6	27,2	29,8
350	27,7	31,7	27,2	29,8
362	27,7	31,7	27,2	29,8
374	27,8	31,8	27,2	29,7
386	27,8	31,7	27,3	29,6
396	27,9	31,8	27,2	29,7
408	27,9	31,8	27,2	29,6
420	28	31,7	27,3	29,7
432	27,9	31,6	27,2	29,6
444	27,8	31,6	27,2	29,6
456	27,9	31,7	27,3	29,7

Lampiran 4. Perbaikan, fabrikasi, dan pengujian alat



