

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Polyethylene*

Polyethylene (PE) merupakan jenis plastik termoplastik yang paling umum digunakan di dunia. PE terdiri dari rantai panjang molekul etilena (C_2H_4) yang terikat bersama. Material ini sering dimanfaatkan dalam berbagai produk sehari-hari seperti kantong plastik, botol, dan pipa. PE memiliki beberapa varian yang dibedakan berdasarkan kepadatan dan penggunaannya.

2.1.1 Jenis-jenis *Polyethylene* (PE)

- LDPE (*Low-Density Polyethylene*) yang memiliki kepadatan rendah (sekitar $0.91\text{--}0.94\text{ g/cm}^3$). Biasanya LDPE digunakan untuk produk yang memerlukan fleksibilitas, seperti kantong plastik, bungkus makanan, dan lapisan film.
- LLDPE (*Linear Low-Density Polyethylene*) dengan kepadatan yang lebih tinggi daripada LDPE, namun lebih rendah dibandingkan HDPE (sekitar $0.91\text{--}0.94\text{ g/cm}^3$). LLDPE Sering digunakan dalam pembuatan kantong plastik, pelapis film, serta aplikasi lain yang memerlukan fleksibilitas serta ketahanan terhadap air dan bahan kimia.
- HDPE (*High-Density Polyethylene*) yang memiliki kepadatan tinggi (sekitar $0.94\text{--}0.97\text{ g/cm}^3$). HDPE digunakan untuk produk-produk yang memerlukan ketahanan fisik yang lebih baik, seperti pipa, botol susu, wadah plastik, dan tas belanja.

- UHMWPE (*Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene*) dengan kepadatan yang umumnya lebih tinggi dari HDPE (sekitar 0.93–0.97 g/cm³). UHMWPE umumnya digunakan dalam aplikasi industri yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap gesekan dan keausan, seperti komponen mesin, pelindung tubuh, dan bahan pipa dalam aplikasi medis.

2.2 HDPE

HDPE (*High-Density Polyethylene*) merupakan polimer termoplastik yang terbentuk melalui proses polimerisasi etilena. Jika dibandingkan dengan *polietilena* dengan kepadatan rendah (LDPE), HDPE memiliki kepadatan yang lebih tinggi. Hal ini menjadikan HDPE lebih kuat, lebih kaku, dan lebih tahan terhadap bahan kimia serta suhu tinggi. Bahan ini juga dikenal memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, sehingga sering digunakan dalam lingkungan yang rentan terhadap air, kelembapan, atau bahan kimia agresif. Karena sifat fleksibilitas yang dimiliki HDPE, material ini lebih mudah dimanfaatkan untuk berbagai produk, termasuk pipa, kemasan, dan lain sebagainya.



Gambar 2. 1 Pipa HDPE

Sumber : (PT Solusi Inti Bersama, 2017)

Dalam dunia industri, pipa yang terbuat dari material HDPE (*High-Density Polyethylene*) digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk distribusi air, limbah, gas, dan masih banyak lagi. Pipa HDPE merupakan jenis pipa yang terbuat dari

bahan polietilena berdensitas tinggi dan dikenal berbagai keunggulannya dalam aplikasi perpipaan, baik untuk air bersih, limbah, maupun sistem drainase. Keunggulan lainnya adalah ketahanan pipa ini terhadap kerusakan akibat paparan lingkungan yang bersifat asam atau basa, serta bahan kimia lainnya. Pipa HDPE juga sering kali disebut sebagai *Geopipe*, karena penggunaannya yang luas dalam sistem perpipaan yang terletak di bawah tanah maupun di atas permukaan.

Tabel 2. 1 Spesifikasi ukuran pipa HDPE

DIMENSI		SDR 26 PN 6		SDR 21 PN 8		SDR 17 PN 10	
OD (mm)	ND (inch)	Tebal (mm)	Berat (Kg)	Tebal (mm)	Berat (Kg)	Tebal (mm)	Berat (Kg)
32	1					2	0.19
40	1.1/4			2	0.25	2.4	0.29
50	1.1/2	2	0.31	2.4	0.37	3	0.45
63	2	2.5	0.49	3	0.58	3.8	0.72
75	2.1/2	2.9	0.67	3.6	0.83	4.5	1.02
90	3	3.5	0.98	4.3	1.19	5.4	1.46
110	4	4.2	1.44	5.3	1.78	6.6	2.18
125	5	4.8	1.85	6	2.28	7.4	2.78
140	5	5.4	2.33	6.7	2.85	8.3	3.49
160	6	6.2	3.06	7.7	3.74	9.5	4.36
180	6	6.9	3.81	8.6	4.70	10.7	5.76
200	8	7.7	4.73	9.6	5.82	11.9	7.11
225	8	8.6	5.94	10.8	7.36	13.4	9.02
250	10	9.6	7.36	11.9	9.01	14.8	11.05
280	10	10.7	9.18	13.4	11.37	16.6	13.89
315	12	12.1	11.69	15	14.29	18.7	17.58
355	14	13.6	14.78	16.9	18.14	21.1	22.39
400	16	15.3	18.74	19.1	23.13	23.7	28.28
450	18	17.2	23.69	21.5	29.26	26.7	35.84
500	20	19.1	29.22	23.9	36.10	29.7	44.28
560	22	21.4	36.63	26.7	45.18	33.2	55.47
630	24	24.1	46.42	30	57.07	37.4	70.25
710	28	27.2	59.09	33.9	72.78	42.1	89.28
800	30	30.6	74.84	38.1	92.25	47.4	113.21
900	36	34.4	95.03	42.9	116.72	53.3	143.21
1000	40	38.2	116.8	47.7	144.21	59.3	177.00
1200	48	45.9	168.17	57.2	207.49	67.9	243.71
1400	56	53.5	226.39	66.7	279.28	82.4	340.742
1600	64	61.2	295.7	76.2	364.68	94.1	444.743

Sumber : (amd piping)

SDR : *Standard Dimension Ratio*

DN : *Nominal Diameter*

OD : *Outside Diameter*

PN : *Pressure Nominal*

 : *Standard Production*

 : *Special Production on Demand*

2.2.1 Karakteristik Pipa HDPE

1. Tahan Lama : Pipa HDPE dapat bertahan hingga lebih dari 50 tahun jika digunakan dalam kondisi normal.
2. Ringan dan Fleksibel : Memudahkan dalam proses transportasi dan instalasi.
3. Tahan Korosi : Pipa ini tidak akan berkarat dan aman untuk mengalirkan air minum karena sifatnya yang bebas racun.
4. Resistensi Tinggi : Mampu menahan tekanan tinggi dan tidak mudah retak pada suhu ekstrem.

Tabel 2. 2 Tabel spesifikasi pipa HDPE

Parameter	Nilai / Keterangan
Material	<i>High-Density Polyethylene</i> (HDPE)
Kepadatan	0.94 – 0.97 g/cm ³
Modulus Elastisitas	800 – 1500 MPa
Tegangan Tarik Maksimum	20 – 37 MPa
Ketahanan Suhu	-40°C hingga 80°C
Titik Leleh	126°C – 135°C
Tekanan Kerja (PN)	PN 6, PN 8, PN 10, PN 12.5, PN 16, PN 20
Daya Tahan Korosi	Tahan terhadap bahan kimia dan tidak mengalami karat
Fleksibilitas	Sangat fleksibel, dapat ditekuk tanpa retak
Ketahanan Retak (SCG & RCG)	Sangat baik terhadap Slow Crack Growth (SCG) dan Rapid Crack Growth (RCG)

Tabel 2. 3 Lanjutan

Umur Pakai	Hingga 50 tahun (tergantung kondisi penggunaan)
Aplikasi Umum	Distribusi air bersih, saluran limbah, perpipaan gas, industri pertanian, pertambangan, dan drainase

Sumber : (PT Solusi Inti Bersama, 2017)

2.3 Jenis dan Kegunaan Pipa HDPE

Pipa HDPE (*High-Density Polyethylene*) memiliki berbagai jenis yang masing-masing dirancang untuk aplikasi tertentu. Berikut adalah jenis-jenis pipa HDPE dan kegunaannya:

1. *Geopipe*

- Deskripsi: Pipa ini memiliki bentuk bergelombang yang dirancang untuk menahan beban tanah timbunan.
- Kegunaan: Umumnya digunakan pada *sub-drain* untuk mencegah genangan air, serta dalam aplikasi seperti sistem pertanian, drainase di bawah lapangan golf, dan pipa air bersih.

2. *HDPE Corrugated Pipe*

- Deskripsi: Pipa ini juga bergelombang tetapi memiliki dinding luar berlapis ganda dan dinding dalam yang halus.
- Kegunaan: Cocok untuk saluran pembuangan limbah industri, konstruksi jalan raya, dan saluran sungai.

3. HDPE *Spiral Pipe*

- Deskripsi: Memiliki dinding luar berbentuk spiral dan terbuat dari *polypropylene*, memberikan kekuatan tambahan terhadap tekanan luar.
- Kegunaan: Digunakan dalam saluran pembuangan, sistem pengairan, ventilasi, dan aplikasi di daerah rawan gempa.

4. HDPE *Pressure Pipe*

- Deskripsi: Pipa ini dirancang untuk menahan tekanan tinggi dan tersedia dalam bentuk batangan atau gulungan.
- Kegunaan: Sering digunakan dalam sistem distribusi air bersih, gas, serta pipa limbah.
- Pipa HDPE banyak digunakan dalam berbagai sektor karena sifatnya yang fleksibel dan tahan lama. Beberapa aplikasi umum meliputi:
 - Sistem Distribusi Air Bersih: Memastikan aliran air yang aman dan bersih.
 - Drainase: Digunakan untuk mengalirkan air hujan dan limbah.
 - Pengairan Pertanian: Efektif dalam mengalirkan air ke lahan pertanian.
 - Sistem Pembuangan Limbah: Mampu menampung dan mengalirkan limbah dengan aman.
 - Infrastruktur Jalan Raya: Digunakan untuk saluran di bawah jalan raya dan rel kereta api.

Dengan keunggulan seperti ketahanan terhadap korosi dan umur pakai yang panjang, pipa HDPE menjadi pilihan utama dalam berbagai proyek teknik sipil dan infrastruktur.

2.4 Pengertian Pengelasan

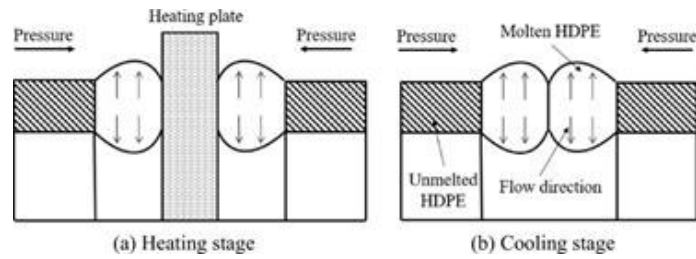
Pengelasan secara harfiah adalah proses yang digunakan untuk menyambungkan dua material atau lebih yang sejenis maupun tidak sejenis. Proses ini dapat dilakukan dengan tekanan atau tanpa tekanan, serta dengan logam atau tanpa penggunaan logam penambah. Tujuan utama dari pengelasan adalah untuk menciptakan sambungan yang kontinu dan memiliki kekuatan setara, bahkan dapat melebihi kekuatan logam induk itu sendiri.

Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN), pengelasan didefinisikan sebagai "ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair". Definisi ini menegaskan bahwa pengelasan melibatkan perubahan fase logam dari keadaan padat menjadi cair, yang kemudian membentuk ikatan metalurgi saat proses pendinginan. Dalam proses pengelasan, baik logam dasar maupun logam pengisi (jika digunakan) akan mencair dan bercampur membentuk sambungan. (Liputan6, 2024)

2.5 Jenis-jenis Metode Penyambungan Pipa

Penyambungan pipa merupakan tahapan penting dalam instalasi sistem perpipaan. Pemilihan metode sambungan sangat dipengaruhi oleh jenis material pipa, diameter, tekanan kerja, hingga kebutuhan perawatan di masa mendatang. Berikut ini adalah beberapa metode penyambungan pipa yang umum digunakan:

2.5.1 Butt Fusion

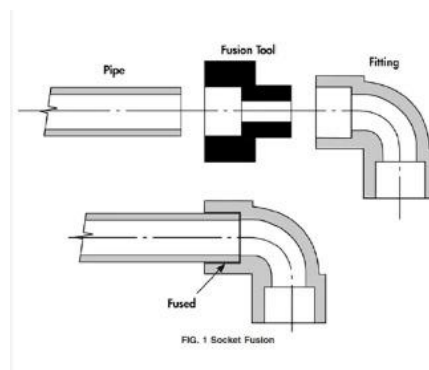


Gambar 2. 2 *Butt fusion*

Sumber : (Shusan Chen, 2021)

Metode *butt fusion* merupakan salah satu teknik pengelasan termoplastik yang paling banyak digunakan, terutama pada pipa HDPE (*High Density Polyethylene*). Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan kedua ujung pipa menggunakan plat pemanas hingga mencapai suhu leleh, lalu kedua ujung tersebut ditekan dan disatukan. Setelah pendinginan, terbentuk sambungan monolitik tanpa celah, sehingga kekuatan sambungan hampir setara dengan material pipa itu sendiri. Kelebihan dari metode ini adalah sambungan yang kuat, tahan bocor, dan cocok digunakan pada jaringan perpipaan air bertekanan tinggi maupun sistem gas. Namun, proses ini membutuhkan peralatan khusus dan keahlian operator agar sambungan yang dihasilkan tidak cacat.

2.5.2 Socket Fusion

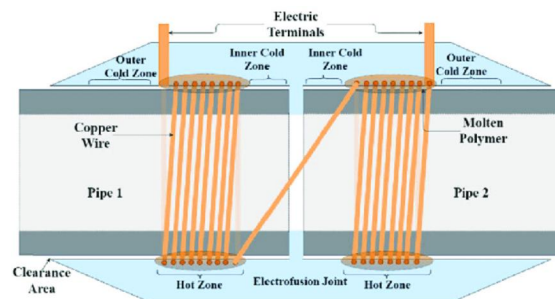


Gambar 2. 3 *Socket fusion*

Sumber : (Hayes Fusion, 2025)

Pada *socket fusion*, ujung pipa dimasukkan ke dalam alat pemanas berbentuk cetakan (*socket*) dan *fitting* dipanaskan dengan alat yang sama, lalu keduanya disatukan dengan cara memasukkan pipa ke *fitting*. Hasil sambungan cukup kuat dan biasanya digunakan pada pipa berdiameter kecil hingga sedang. Keunggulannya adalah proses lebih sederhana dibandingkan *butt fusion*, peralatannya lebih ringan, serta dapat dilakukan di lapangan. Kekurangannya, sambungan lebih sulit diterapkan pada pipa berdiameter besar dan kualitas sambungan sangat tergantung pada ketelitian saat penyatuan.

2.5.3 Electrofusion



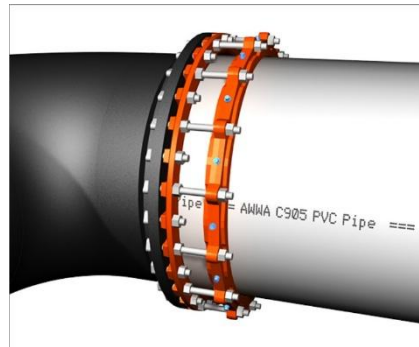
Gambar 2. 4 Electrofusion

Sumber : (Akram, 2020)

Metode *electrofusion* memanfaatkan *fitting* khusus yang di dalamnya terdapat kawat resistansi (*heating coil*). Ketika dialiri arus listrik dengan mesin kontrol khusus, kawat tersebut akan memanaskan dinding pipa dan *fitting* hingga meleleh, sehingga terbentuk sambungan yang menyatu secara permanen. Keunggulan metode ini adalah kemudahan aplikasi di lapangan, terutama pada lokasi yang sempit atau sulit dijangkau, serta kualitas sambungan yang lebih konsisten karena

dikontrol secara otomatis. Namun, biaya relatif lebih mahal karena membutuhkan fitting khusus dan peralatan *electrofusion* yang harganya tinggi.

2.5.4 Mechanical Joint

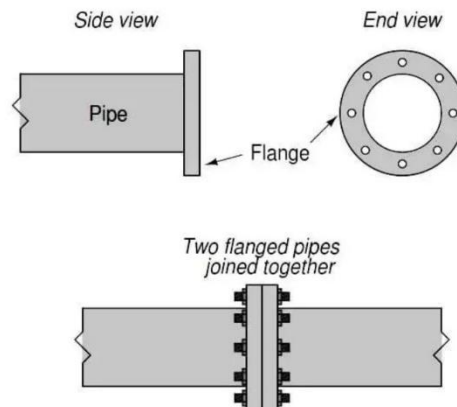


Gambar 2. 5 *Mechanical joint*

Sumber : (EBAA IRON SALES, inc, 2014)

Metode *mechanical joint* merupakan sambungan *non-permanen* yang menggunakan komponen mekanis seperti *compression fitting*, *coupler*, atau *flange adaptor*. Penyambungan ini tidak membutuhkan pemanasan atau pengelasan, cukup dengan mengencangkan baut atau ring penekan sehingga pipa dan *fitting* dapat tersambung rapat. Metode ini banyak dipakai untuk jaringan pipa dengan tekanan rendah hingga sedang, atau pada instalasi yang membutuhkan fleksibilitas bongkar-pasang, seperti sistem irigasi dan instalasi sementara. Kekurangannya adalah sambungan ini berpotensi mengalami kebocoran seiring waktu akibat getaran, tekanan tinggi, atau degradasi *seal/gasket*.

2.5.5 Flange Joint



Gambar 2. 6 Flange joint

Sumber : (PETROSYNCBlog, 2024)

Flange joint digunakan pada pipa berdiameter besar atau pada titik-titik instalasi yang memerlukan perawatan rutin. Proses penyambungan dilakukan dengan cara memasang *flange* di ujung pipa, lalu kedua *flange* diikat menggunakan baut dan diapit *gasket* sebagai perapat. Kelebihan *flange joint* adalah mudah dibongkar pasang, kuat menahan tekanan, serta memungkinkan inspeksi atau penggantian komponen dengan cepat. Kekurangannya, sambungan ini memerlukan ruang lebih besar untuk pemasangan baut dan *gasket*, serta biaya tambahan karena membutuhkan material *flange* dan *gasket* yang sesuai standar.

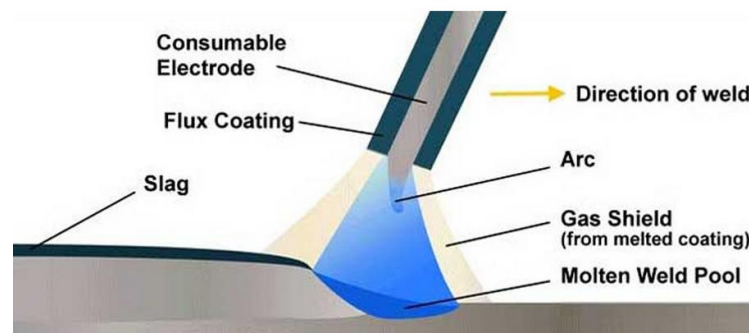
2.6 Jenis-jenis Pengelasan

Ada beberapa metode yang umum digunakan, diantaranya:

2.6.1 Las Busur Listrik (*Shielded Metal Arc Welding / SMAW*)

SMAW, atau sering disebut dengan proses pengelasan elektrode terbungkus, menggunakan elektroda berbentuk batang yang dilapisi fluks untuk menghasilkan gas pelindung yang melindungi area pengelasan dari kontaminasi.

Pada prinsip kerja dalam pengelasan SMAW busur listrik terbentuk antara elektroda dan benda kerja. Elektroda ini terbakar dan menghasilkan logam las serta gas pelindung yang melindungi las dari oksidasi. Fluks pada elektroda juga membentuk slag pelindung setelah pengelasan selesai. Dalam pengelasan SMAW digunakan dalam pengelasan hampir semua jenis logam, terutama untuk konstruksi baja, perbaikan, dan di lapangan. Sangat fleksibel dan sering digunakan di luar ruangan.



Gambar 2. 7 Proses pengelasan SMAW

Sumber : (SLV Metropolitan Indonesia, 2019)

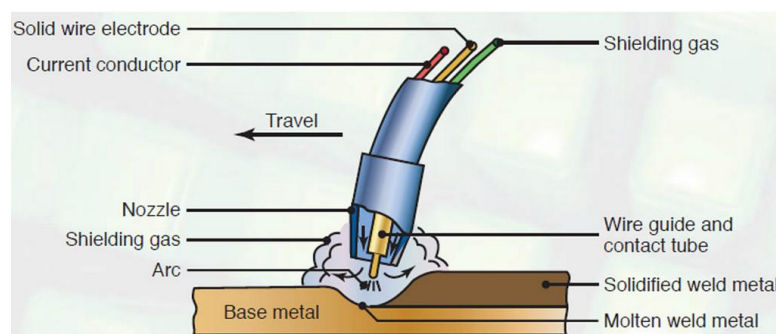
- Kelebihan
 - Peralatan relatif murah dan portabel.
 - Bisa digunakan dalam berbagai posisi pengelasan.
 - Cocok untuk pengelasan di lapangan, di luar ruangan, atau dalam kondisi sulit.
- Kekurangan
 - Meninggalkan *slag* (endapan) yang harus dibersihkan setelah pengelasan.
 - Kecepatan pengelasan lebih rendah dibandingkan GMAW.
 - Tidak terlalu efisien pada material tipis dan membutuhkan keterampilan tinggi.

2.6.2 Las *Gas Tungsten ARC* (GTAW/TIG)

GTAW, atau dikenal dengan TIG (*Tungsten Inert Gas*), adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda tungsten non-konsumabel dan gas pelindung untuk melindungi area pengelasan.

Prinsip kerja dari pengelasan GTAW adalah busur listrik terbentuk antara elektroda tungsten dan benda kerja. Gas pelindung (argon atau helium) mengelilingi busur dan area pengelasan, sedangkan elektroda tungsten tidak terkonsumsi. Pengelasan dapat dilakukan dengan atau tanpa menambahkan logam pengisi.

Pengelasan GTAW umumnya digunakan untuk pengelasan logam mulia seperti aluminium, *stainless steel*, titanium, dan paduan logam ringan lainnya. Banyak digunakan di industri pesawat terbang, otomotif, dan peralatan medis.



Gambar 2. 8 Proses pengelasan GTAW
Sumber : (SLV Metropolitan Indonesia, 2019)

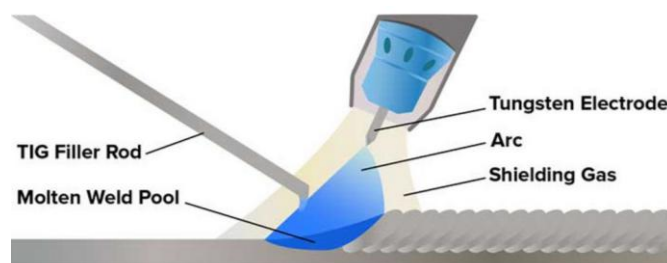
- Kelebihan:
 - Memberikan hasil las yang sangat bersih dan halus.
 - Cocok untuk pengelasan material tipis.
 - Tidak menghasilkan percikan dan minim distorsi.
- Kekurangan:
 - Proses pengelasan yang lebih lambat dibandingkan GMAW dan SMAW.

- Memerlukan keterampilan tinggi dan lebih sulit dikendalikan.
- Peralatan lebih mahal dan rumit.

2.6.3 Las Gas Metal ARC (GMAW/MIG)

GMAW, juga dikenal dengan nama MIG (*Metal Inert Gas*), adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan elektroda kawat yang terisi gas pelindung untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi udara.

Pada Prinsip kerja Pengelasan GMAW adalah busur listrik dibentuk antara elektroda kawat dan benda kerja. Elektroda kawat ini terus-menerus dipasok ke area pengelasan dan dikelilingi oleh gas pelindung seperti argon atau campuran gas yang mencegah oksidasi atau kontaminasi. Umumnya pengelasan GMAW digunakan untuk pengelasan logam *non-ferrous* (seperti aluminium dan tembaga) dan baja karbon, terutama dalam industri otomotif, konstruksi, dan fabrikasi ringan.



Gambar 2. 9 Proses pengelasan GMAW

Sumber : (SLV Metropolitan Indonesia, 2019)

- Kelebihan:
 - Kecepatan pengelasan yang tinggi.
 - Menghasilkan sambungan las yang bersih dan minim percikan.
 - Proses lebih mudah dikendalikan.
- Kekurangan:
 - Memerlukan peralatan yang lebih mahal.

- Tidak cocok untuk pengelasan di luar ruangan (terpengaruh angin yang dapat mengganggu gas pelindung).
- Penggunaan gas pelindung bisa mahal dan memerlukan perhatian ekstra.

2.6.4 Las Plasma ARC (*PAW-Plasma ARC Welding*)

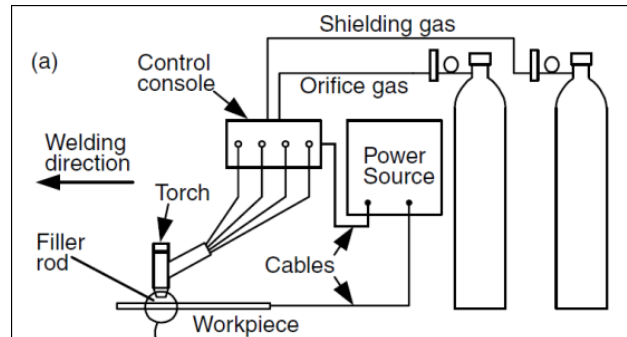
Las Plasma ARC atau *Plasma ARC Welding* (PAW) adalah proses pengelasan yang menggunakan busur listrik untuk mengionisasi gas dan menciptakan plasma yang sangat panas guna melelehkan logam. Proses ini mirip dengan las TIG (*Tungsten Inert Gas*), tetapi memiliki kontrol yang lebih baik terhadap busur dan suhu, sehingga memungkinkan pengelasan dengan presisi tinggi.

PAW bekerja dengan cara memanfaatkan elektroda tungsten yang dikelilingi oleh gas plasma yang mengalir melalui *nozzle* sempit. Proses ini terdiri dari dua jenis busur listrik:

1. **Busur Non-Transfer (*Non-Transferred Arc*):** Busur terbentuk antara elektroda tungsten dan *nozzle*, menciptakan plasma yang keluar dari *nozzle*.
2. **Busur Transfer (*Transferred ARC*):** Busur mengalir dari elektroda tungsten langsung ke benda kerja, yang menciptakan panas lebih tinggi dan penetrasi lebih dalam.

Gas plasma biasanya berupa argon atau campuran argon-hidrogen yang berfungsi untuk mengionisasi dan menghasilkan panas tinggi, mencapai suhu hingga 25.000°C. PAW sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pengelasan dengan tingkat presisi tinggi, seperti: Industri penerbangan dan luar

angkasa, Industri otomotif , Pengelasan pipa bertekanan tinggi dan *stainless steel*, Industri manufaktur alat medis, Pengelasan material tipis dan mikro.

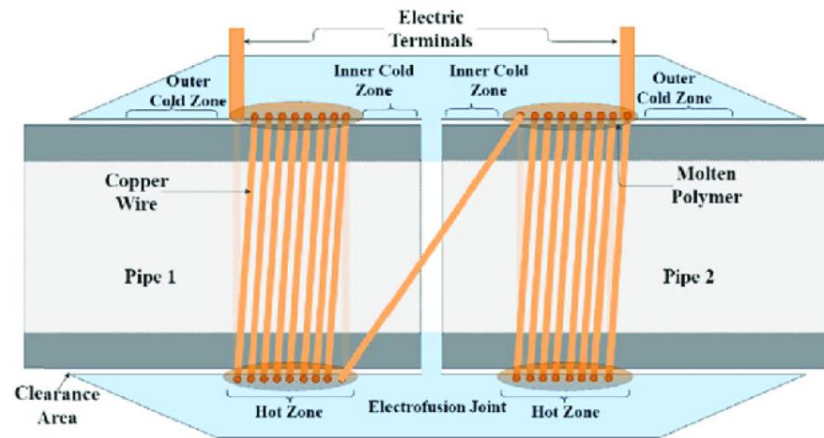


Gambar 2. 10 Proses *plasma ARC welding*
Sumber : (Waisya, 2011)

2.6.5 *Electrofusion Welding*

Electrofusion adalah metode pengelasan yang digunakan untuk menyambungkan pipa, terutama pada pipa berbahan plastik. Proses ini menggunakan pemanasan listrik untuk melelehkan sambungan antara pipa dan *fitting* (penyambung).

Pada prinsip kerja pengelasan *Electrofusion Welding* pipa dan fitting dilengkapi dengan elemen pemanas listrik internal. Ketika arus listrik diterapkan, elemen pemanas mencairkan permukaan pipa dan *fitting*, lalu mereka digabungkan dengan tekanan ringan untuk menghasilkan sambungan yang kuat. Diperuntukan atau digunakan terutama untuk pipa plastik (seperti pipa PVC dan PE) dalam aplikasi seperti distribusi gas, air, dan sistem drainase.



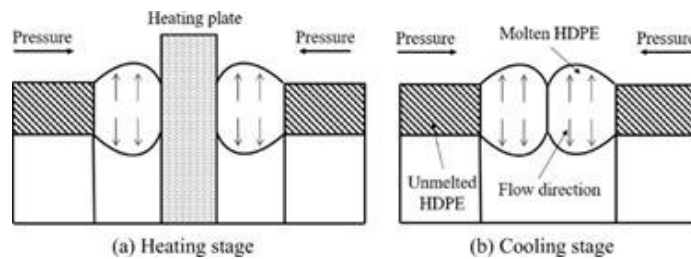
Gambar 2. 11 Proses pengelasan *electrofusion*

Sumber : (Akram, 2020)

- Kelebihan:
 - Sambungan yang sangat kuat dan tahan lama.
 - Penggunaan yang efisien dalam kondisi lapangan.
 - Dapat digunakan untuk berbagai jenis pipa plastik.
- Kekurangan:
 - Hanya digunakan untuk material plastik, bukan logam.
 - Memerlukan peralatan khusus dan kontrol suhu yang tepat.
 - Biaya peralatan yang relatif tinggi.

2.6.6. *Manual Butt Fusion Welding*

Butt fusion adalah proses pengelasan untuk menyambung pipa plastik dengan memanaskan kedua ujung pipa dan *fitting*, kemudian menekannya bersama-sama untuk menghasilkan sambungan yang kuat.



Gambar 2. 12 Proses pengelasan *manual butt fusion*

Sumber : (Shusan Chen, 2021)

Prinsip kerja pengelasan *Butt Fusion* ini adalah kedua ujung pipa dipanaskan menggunakan pemanas khusus hingga meleleh seperti yang ditunjukkan pada poin (a) Gambar 2.12, lalu ditekan bersama-sama di bawah tekanan tertentu seperti pada poin (b) Gambar 2.12. Setelah pendinginan, sambungan yang terbentuk sangat kuat. Umumnya digunakan terutama dalam penyambungan pipa berbahan plastik (seperti HDPE) di berbagai industri, terutama untuk sistem pipa air, gas, dan limbah. Mesin las *manual butt fusion* banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk:

- Infrastruktur Air Bersih: Untuk menyambung pipa distribusi air bersih.
- Sistem Pembuangan Limbah: Menyambung pipa untuk sistem drainase dan limbah.
- Pipa Gas dan Minyak: Digunakan dalam proyek-proyek yang memerlukan sambungan pipa gas dan minyak.
- Kelebihan:
 - Hasil sambungan sangat kuat dan tahan lama.
 - Tidak memerlukan bahan pengisi tambahan.
 - Ideal untuk pipa besar dan pengelasan di lapangan.
- Kekurangan:
 - Memerlukan peralatan yang tepat dan keterampilan manual.
 - Tidak dapat digunakan untuk material logam.

- Proses yang memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan pengelasan otomatis.

2.7 Perbandingan *Electrofusion* dengan *Manual Butt Fusion*

Mesin las *manual butt fusion* merupakan alat yang digunakan dalam penyambungan pipa HDPE (*High-Density Polyethylene*) melalui metode pengelasan fusi. Proses ini melibatkan pemanasan kedua ujung pipa hingga mencapai suhu tertentu, kemudian menyatukan keduanya untuk membentuk sambungan yang kuat. Proses ini berbeda dari metode pengelasan tradisional, karena menggunakan plat pemanas untuk mencairkan ujung pipa, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan tahan lama.

Tabel 2. 3 Perbandingan antara *electrofusion welding* dan *manual butt fusion welding*

Aspek	<i>Electrofusion</i>	<i>Manual Butt Fusion</i>
Proses	Penggunaan elemen pemanas dalam <i>fitting</i> .	Pemanasan langsung pipa dengan pemanas.
Perlengkapan	Memerlukan <i>fitting</i> khusus dan peralatan Listrik.	Memerlukan mesin pemanas dan alat pemampat.
Keuntungan	kontrol parameter pengelasan seperti waktu dan suhu yang presisi.	Proses yang lebih cepat dari <i>electrofusion</i> dengan ukuran pipa yang sama.
Pertimbangan	Investasi awal perlengkapan yang mahal.	Material pengelasan yang terbatas.

Sumber : (JSK Plastics Industries, 2022)

Kedua metode memiliki keunggulan masing-masing tergantung pada aplikasi dan kebutuhan proyek *electrofusion* sering digunakan di area terbatas atau di lapangan, sementara *manual butt fusion* lebih umum di proyek-proyek besar dengan pipa yang lebih besar.

2.8 Komponen-Komponen Mesin las *Manual Butt Fusion*



Gambar 2. 13 Mesin las *manual butt fusion*

Sumber : (amd piping)

Mesin las *manual butt fusion* adalah alat yang digunakan untuk menyambung pipa HDPE dengan metode pengelasan fusi. Berikut adalah komponen utama dari mesin las *manual butt fusion* beserta penjelasannya:

2.8.1 Rangka Dasar



Gambar 2. 14 Rangka dasar

Sumber : (amd piping)

Struktur utama yang mendukung semua komponen mesin dan berfungsi sebagai stabilitas dan memastikan pipa terpasang dengan benar selama proses pengelasan.

2.8.2 Plat Pemanas (*Heating Plate*)



Gambar 2. 15 *Heating plate*

Sumber : (amd piping)

Plat yang digunakan untuk memanaskan ujung pipa hingga mencapai suhu fusi dan berfungsi menghasilkan panas yang diperlukan untuk melelehkan permukaan pipa, sehingga memungkinkan kedua ujung pipa menyatu dengan baik. Selain itu terdapat knob pengatur *ampere* yang mengontrol selama proses pengelasan dan berfungsi untuk menjamin bahwa proses pengelasan dilakukan pada parameter yang sesuai.

2.8.3 Alat Perencanaan (*Planner* atau *Trimmer*)



Gambar 2. 16 *Planner* atau *trimmer*

Sumber : (amd piping)

Alat yang digunakan untuk meratakan permukaan ujung pipa sebelum disambungkan dan berfungsi untuk memastikan bahwa permukaan pipa bersih dan rata, yang sangat penting untuk mencapai sambungan yang kuat dan efisien.

2.8.4 Ragum Penyangga (*Clamps*)



Gambar 2. 17 *Clamps*

Sumber : (amd piping)

Alat yang berfungsi untuk menahan dan menjaga posisi pipa selama proses pengelasan dan berfungsi untuk menjaga agar pipa tidak bergerak saat pemanasan dan penyatuan, sehingga memastikan sambungan yang tepat.

2.8.5 Kontrol Suhu

Sistem pengatur yang mengontrol suhu selama proses pengelasan dan berfungsi untuk menjamin bahwa proses pengelasan dilakukan pada parameter yang tepat untuk menghasilkan sambungan berkualitas tinggi.

2.9 Penentuan Alat dan Bahan yang akan digunakan

Untuk penelitian pengelasan pipa dengan teknik fusi, alat yang dibutuhkan adalah mesin las pipa. Mesin las yang akan digunakan adalah mesin las *manual butt fusion*. Pemilihan mesin ini lebih kami prioritaskan dibandingkan dengan mesin las *electrofusion*, karena harganya yang lebih terjangkau dan waktu pengelasan yang lebih singkat. Selain itu, proses pengelasan pipa menggunakan mesin las *manual butt fusion* ini lebih efisien, mengingat mesin tersebut tidak memerlukan *fitting* khusus seperti pada mesin las *electrofusion*, yang dapat menambah biaya cukup besar. Bahan yang digunakan untuk pengelasan adalah pipa dengan material HDPE.

2.9.1 Mesin Las *Manual Butt Fusion* yang digunakan

Pada penelitian ini, kami menggunakan mesin las *manual butt fusion* dengan tipe SHDS 160Y A4 lansiran AMD Piping. SHDS 160Y A4 adalah *manual butt fusion welding machine* untuk pipa berukuran 40mm hingga 160 mm. Dengan desain kompak dan portabel, ini akan memungkinkan pekerjaan dalam kondisi yang rumit. Plat pemanas dengan tampilan digital membantu untuk membaca suhu dengan tepat dan cara yang nyaman. Mesin las jenis ini sangat cocok untuk mengelas pipa plastik berbahan HDPE. **Tabel 2.4** menunjukkan spesifikasi dari mesin las *manual butt fusion* SHDS 160Y A4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi mesin las *manual butt fusion* SHDS 160Y A4

Spesifikasi	
Bahan	<i>Polyethylene</i> (PE)
Ukuran	40 – 160 mm
Clamp	40, 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160 mm
Voltase	220 V $\pm$ 10%, 50 Hz
Total Daya	1.710 Watt
Suhu	150 °C - 270 °C
Berat (Bersih/ Kotor)	44.2/ 52.2 Kg
Volume	0.198 m ²
<i>Basic Frame</i> / Berat	74 x 59 x 38 cm/ 34 Kg
<i>Heating Plate</i> / Berat	30 x 5 x 35 cm/ 2.7 Kg
<i>Milling Cutter</i> / Berat	36 x 26 x 32 cm/ 6 Kg
<i>Support</i> / Berat	30 x 18.5 x 42 cm/ 1.5 Kg
Ukuran Box (1 Box Kayu)	77 x 57 x 45 cm

Sumber : (amd piping)

2.9.2 Perhitungan Daya

Untuk mengoperasikan mesin las *manual butt fusion*, dibutuhkan sejumlah daya yang dapat dihitung berdasarkan spesifikasi daya mesin las yang tertuang dalam **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 5 Spesifikasi daya mesin las *manual butt fusion*

Spesifikasi	
Tegangan (V)	220 V
Frekuensi (Hz)	50 Hz

Tabel 2. 5 Lanjutan

Total Daya (P Total)	1.710 W (1.71 kW)
Sumber : (amd piping)	

2.9.2.1 Daya Plat Pemanas

Plat pemanas adalah komponen utama yang memanaskan pipa HDPE sebelum penyambungan. Karena spesifikasi tidak menyebutkan konsumsi daya masing-masing komponen, kita asumsikan 70% dari total daya digunakan untuk pemanas (amd piping) :

$$P_{heater} = 0.7 \times P_{total}$$

Jika plat pemanas digunakan selama **30 detik (0,5 menit)** untuk satu kali sambungan:

$$E_{heater} = P_{heater} \times t$$

2.9.2.2 Daya Milling Cutter

Milling cutter digunakan untuk meratakan permukaan pipa sebelum penyambungan. Biasanya, mesin ini membutuhkan daya 25,7% dari total daya (amd piping) :

$$P_{cutter} = 0.257 \times P_{total}$$

Jika *milling cutter* digunakan selama **30 detik (0,5 menit)** untuk satu kali sambungan :

$$E_{cutter} = P_{cutter} \times t$$

2.9.2.3 Total Konsumsi Energi untuk satu siklus *Butt Fusion*

Jika dalam satu siklus penyambungan menggunakan semua komponen ini:

$$E_{total} = E_{heater} + E_{cutter}$$

2.9.3 Spesifikasi Pipa yang digunakan

Proses pengelasan dilakukan menggunakan pipa dengan material HDPE yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Spesifikasi pipa yang digunakan			
DIMENSI		SDR 17 PN 10	
OD (mm)	ND (inch)	Tebal (mm)	Berat (Kg)
40	1.1/4	2.4	0.29

Sumber : (amd piping)

SDR : *Standard Dimension Ratio*

OD : *Outside Diameter*

ND : *Nominal Diameter*

PN : *Pressure Nominal*

Pipa HDPE dengan spesifikasi tersebut dipilih karena mesin las *manual butt fusion* tipe SHDS 160Y A4 yang digunakan memiliki kemampuan untuk mencekam pipa dengan ukuran 40-160 mm. Pemilihan ukuran ini disesuaikan dengan kapasitas mesin untuk memastikan kestabilan dan keefisienan dalam proses pengelasan. Dengan rentang ukuran tersebut, mesin dapat bekerja dengan optimal.

2.10 Pembuatan Spesimen

Untuk melakukan proses pengujian ini, disiapkan sebuah pipa HDPE yang telah dipotong menjadi dua bagian. Potongan pipa tersebut kemudian akan melalui proses penyambungan menggunakan mesin las *manual butt fusion*. Terdapat beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan dalam proses penyambungan kedua bagian pipa ini.

2.10.1 Parameter – Parameter Pengelasan

Parameter-parameter utama dalam pengujian mesin las *manual butt fusion* kali ini yaitu :

- Suhu plat pemanas dengan variasi 190°C, 210°C, dan 230°C. Variasi suhu plat pemanas di atas di dapat dari spesifikasi mesin yang dipaparkan dalam *manual book*.
- Durasi pemanasan yang disesuaikan dengan ketebalan pipa sesuai standar DVS 2207-1

2.10.2 Proses Pengelasan

Pengujian mesin las *manual butt fusion* pada pipa HDPE (*High-Density Polyethylene*) merupakan langkah penting dalam memastikan kualitas sambungan pipa yang kokoh dan tahan lama. Proses pengujian ini melibatkan pemeriksaan terhadap kinerja mesin las *manual butt fusion*, yang digunakan untuk menyambungkan dua ujung pipa HDPE dengan cara pemanasan dan penekanan sehingga terjadi penyatuan material. Beberapa aspek yang diuji meliputi suhu dan waktu pemanasan yang sesuai dengan spesifikasi pipa HDPE yang digunakan (Kumar, 2013).

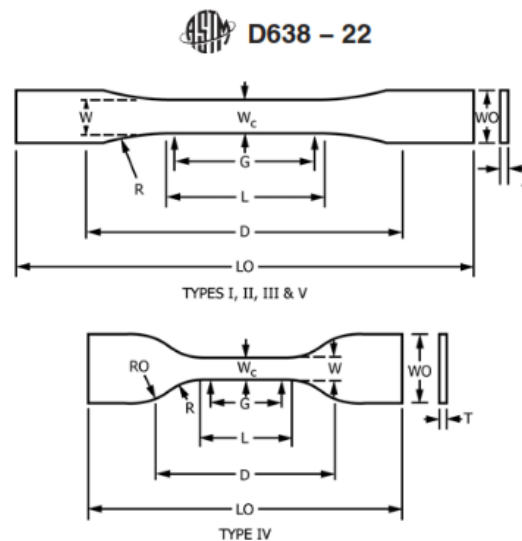
2.11 Proses Pengujian

Pengujian spesimen melalui uji tarik dan uji hidrostatik merupakan serangkaian uji penting dalam mengevaluasi kualitas material dan produk. Uji tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik suatu material dengan cara menarik spesimen hingga terjadi pemutusan, yang memberikan informasi mengenai kekuatan dan elastisitas material tersebut. Sedangkan uji hidrostatik bertujuan untuk

mengevaluasi ketahanan terhadap hidrostatik pada material yang digunakan, seperti pada pipa atau komponen lain yang berfungsi menahan cairan atau gas.

2.11.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada pipa HDPE PN 10 menjadi prosedur dalam melakukan evaluasi ketahanan pipa terhadap gaya tarik yang diberikan. Pengujian ini banyak dilakukan di dunia industri karena prosesnya yang tidak rumit tetapi menghasilkan data yang penting seperti kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength*), Kekuatan mulur (*Yield Strenght or Yield Point*), serta elastisitas (*Elasticity*) (Muktar Sinaga). Pengujian tarik pada pipa HDPE PN 10 ini menggunakan standar ASTM D638-22. Bentuk spesimen uji tarik pipa HDPE ini mengacu pada standar ASTM D638. (American Society for Testing and Materials, 2022)



Gambar 2. 18 Spesimen uji tarik

Sumber : (American Society for Testing and Materials, 2022)

Material pipa HDPE yang telah dilakukan pengelasan akan disiapkan menjadi spesimen pengujian tarik seperti pada **Gambar 2.18** dengan keterangan sebagai berikut :

W : Lebar bagian tersempit

Wo : Lebar spesimen
 L : Panjang titik pengujian
 D : Panjang bagian tersempit
 R : Jarak lengkung
 Lo : Panjang spesimen

Tabel 2. 7 Standar ukuran ASTM D638 tipe I-V

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ^A					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under	
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Sumber : (American Society for Testing and Materials, 2022)

Spesimen yang telah dilakukan pengujian tarik akan mengalami perubahan ukuran. Untuk mengetahui kekuatan tarik, maka perlu menghitung beberapa parameter seperti tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut (William D. Callister, 2009) :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²) atau (Mpa)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang awal spesimen (mm²)

Sementara itu, regangan dapat dirumuskan sebagai berikut (William D. Callister, 2009) :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dimana :

ε = Regangan

l_0 = Panjang awal (mm)

Δl = Penambahan panjang atau elongasi (mm)

Untuk modulus elastisitas dapat dirumuskan sebagai berikut (William D. Callister, 2009) :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm^2) atau (Mpa)

E = Modulus elastisitas (N/mm^2) atau (Mpa)

ε = Regangan



Gambar 2. 19 *Universal Testing Machine*

Sumber : (EMIN Corporation, 2024)

Mesin Uji Universal (*Universal Testing Machine/ UTM*) atau yang biasa dikenal sebagai Alat Uji Tarik (*Tensile Tester*) merupakan peralatan kunci dalam bidang pengujian material. Alat ini dirancang untuk mengevaluasi sifat mekanik berbagai bahan, seperti ketahanan terhadap tarik, tekanan, lenturan, serta parameter teknis lainnya. Keberadaan UTM sangat penting untuk menjamin mutu material dan keandalan suatu produk.

Alat uji tarik yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu HST model WDW-200E seperti pada **Gambar 2.19** yang memiliki spesifikasi seperti berikut :

Tabel 2. 8 Spesifikasi alat uji tarik

Model	HST WDW-200E
Parameter	Nilai/ Keterangan
<i>Max. Load(kN)</i>	200
<i>Load accuracy</i>	0.5 Class
<i>Load range</i>	2%~100%F·S
<i>Load resolution</i>	1/300000
<i>Resolution of deformation</i>	0.04um
<i>Accuracy of displacement</i>	Within± 0.5% of indicating load
<i>Resolution of displacement</i>	0.01mm
<i>Test speed(mm/min)</i>	0.05-500 stepless arbitrary setting
<i>Speed accuracy</i>	Within± 1% / ±0.5% of set speed
<i>E-Tensile space(mm)</i>	700 (can be customized)
<i>E-Compression space(mm)</i>	1100 (can be customized)
<i>D-Test width(mm)</i>	600 (can be customized)
<i>F-Beam travel distance(mm)</i>	1100
<i>Power supply</i>	AC 220V ± 10%, 50Hz/60Hz (can be customized)

Sumber : (HST Group, 2023)

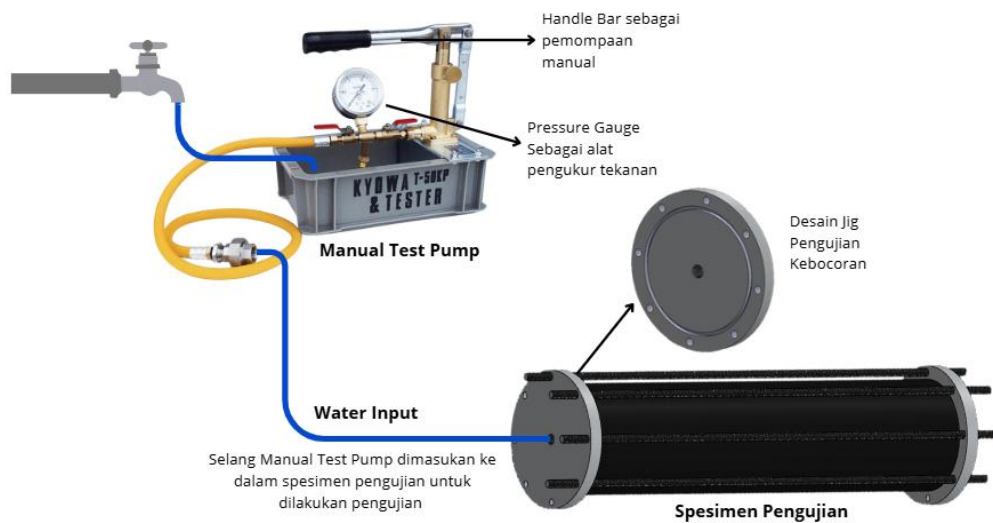
Prinsip kerja pada suatu alat sangatlah penting agar mendapatkan hasil yang akurat dan tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data, berikut prinsip kerja pada mesin uji tarik :

1. Persiapkan alat dan bahan sesuai standar yang sudah di tentukan
2. Gunakan alat uji tarik dan spesimen yang telah dipersiapkan sebelum pengujian.
3. Atur *indicator force gauge* menggunakan tombol SET. Pastikan *force gauge* sudah kencang agar saat melakukan pengambilan data tidak mengalami guncangan

4. Lepaskan kedua kait untuk memasang benda kerja dan memasang kembali dengan kait yang panjang di pasangkan di atas dan kait yang pendek di pasangkan di *force gauge*
5. Setelah benda kerja terpasang pastikan keadaan *force gauge* dan mistar *digital* sudah dalam posisi 0 sebelum melakukan pengujian
6. Lakukan pengujian tarik 3 spesimen sampai putus. Catat gaya tarik dan elongasi yang terjadi pada kelipatan gaya 0,02 kN atau 20 N dan putar katrol manual sampai benda kerja putus.

2.11.2 Pengujian Hidrostatik

Uji hidrostatik adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan pipa dan bejana bertekanan, termasuk yang digunakan dalam distribusi air dan minyak. Proses ini dilakukan dengan mengisi pipa atau bejana menggunakan cairan, umumnya air, lalu menerapkan tekanan hingga mencapai batas uji yang telah ditentukan. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memastikan bahwa pipa atau bejana mampu menahan tekanan operasional maksimum tanpa mengalami kebocoran atau kegagalan. Metode ini telah menjadi standar dalam industri minyak dan gas guna memastikan kekuatan struktural pipa setelah penyelesaian konstruksi, khususnya saat dilakukan perbaikan besar. (Adjogbe A.S, 2019).



Gambar 2. 20 Pengujian hidrostatik

Pengujian hidrostatik pada pipa HDPE PN 10 SDR 17 merupakan langkah krusial dalam mengevaluasi ketahanan pipa terhadap tekanan internal yang disebabkan oleh aliran fluida di dalamnya. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memastikan bahwa pipa dapat beroperasi secara aman dan efisien dalam kondisi tekanan yang diperkirakan sesuai dengan aplikasinya, seperti dalam sistem distribusi air minum atau irigasi (Ramadani, 2015). Sebelum pelaksanaan pengujian hidrostatik, perlu dilakukan perhitungan tekanan yang akan diterapkan. Pengujian ini dilaksanakan dengan merujuk pada standar ISO 4427 (International Organization for Standardization, 2019). Pipa yang digunakan memiliki spesifikasi diameter 40 mm dengan ketebalan 2.4 mm dengan kode PN 10 SDR 17. Dengan keterangan sebagai berikut

HDPE : Jenis pipa beban yang digunakan

PN : Nominal Tekanan Kerja (bar)

SDR : Rasio Dimensi Standar

Perhitungan tekanan maksimal yang dapat diberikan oleh pipa. Pertama dilakukan dengan tegangan desain (σ_s) dengan rumus (Sumber) (Tubagus Nor Rohmannudin, 2024).

$$PN = \frac{20 \times \sigma_s}{SDR - 1}$$

Keterangan

σ_s : Tegangan desain (Mpa)

Syarat ketentuan minimum (MRS) dengan rumus (Tubagus Nor Rohmannudin, 2024) :

$$MRS = \sigma_s C$$

Keterangan :

C : koefisien (berdasarkan ISO 4427)

Tekanan maksimum operasi (MOP) merupakan acuan dalam memberikan tekanan. Rumus MOP sebagai berikut (Tubagus Nor Rohmannudin, 2024) :

$$MOP = \frac{20 (MRS)}{C (SDR - 1)}$$

Keterangan:

MOP : Tekanan maksimum operasi (bar)

Tekanan dalam pengujian hidrostatik dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut (UNICEF):

$$P_t = 1,5 \times MOP$$

Keterangan:

P_t : Tekanan Pengujian



Gambar 2. 21 *Test pump manual*

Sumber : (JoyBeli, 2022)

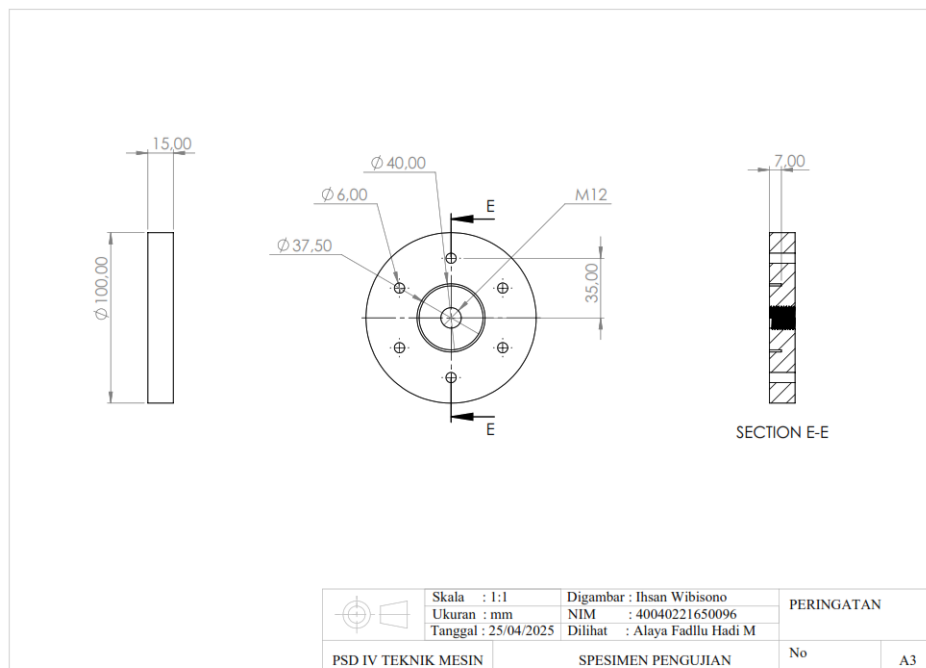
Tentunya pengujian hidrostatik ini membutuhkan alat seperti *test pump manual*. *Test pump manual* adalah alat yang dirancang untuk melakukan pengujian hidrostatik, khususnya untuk memastikan ketahanan dan integritas sistem perpipaan, terutama pipa PN 10 SDR 17. Alat ini berfungsi secara manual dengan cara memompa air ke dalam sistem uji untuk menciptakan tekanan hidrostatik yang terkontrol, yang kemudian dipantau menggunakan manometer presisi. Tujuan utama dari penggunaan alat ini adalah untuk memastikan bahwa pipa PN 10 SDR 17 mampu menahan tekanan kerja nominal (PN) sebesar 10 bar serta tekanan uji yang lebih tinggi tanpa mengalami kebocoran, deformasi, atau kerusakan struktural. Pada pengujian hidrostatik ini, *test pump manual* yang digunakan berkapasitas tekanan 2,5 MPa atau 25 bar yang ditunjukkan pada **Gambar 2.21** dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. 9 Spesifikasi *test pump manual*

Parameter	Nilai/ Keterangan
Bahan	Aluminium
Tekanan	25 bar
Aliran	13 ml/ s
Bobot Alat	1,6 Kg/ 3,53 lb
Ukuran Alat	300 mm x 180 mm x 100 mm

Sumber : (Mart, 2023)

Dalam proses pengujian pipa PN 10 SDR 17, *test pump manual* ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi tekanan operasional maksimum dan juga tekanan sesaat yang lebih tinggi (biasanya 1,5 kali dari tekanan kerja, yaitu sekitar 15 bar), sesuai dengan standar uji hidrostatik ISO 4427. Penggunaan alat uji ini juga memerlukan *jig* yang dirancang sesuai dengan ukuran pipa yang akan disambungkan pada klem selang *test pump manual* seperti pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2. 22 *Jig* pengujian hidrostatik

Alat ini sangat ideal untuk aplikasi lapangan karena desainnya yang ringan dan portabel, memungkinkan pengujian dilakukan di lokasi instalasi pipa tanpa memerlukan peralatan besar. Selain itu, fitur katup pelepas tekanan (*pressure relief*

valve) dan tangki air terintegrasi menjamin keamanan operator selama proses pengujian. Dengan kemampuan mencapai tekanan maksimum 25 bar, test pump ini tidak hanya cocok untuk pipa PN 10, tetapi juga dapat digunakan untuk menguji komponen bertekanan menengah lainnya seperti katup industri, *fitting*, atau bejana hidrolis.

Dengan memastikan bahwa pipa lolos uji hidrostatik, risiko kegagalan sistem akibat tekanan berlebih atau cacat material dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan keandalan infrastruktur perpipaan.

2.12 Analisis Korelasi

Menurut (Darwis, 2005), Analisis korelasi merupakan salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua variabel atau lebih yang bersifat kuantitatif.

Secara umum, analisis korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur dan memahami hubungan antara dua atau lebih variabel dalam suatu data. Definisi analisis korelasi mencakup pengukuran kekuatan dan arah hubungan antara variabel-variabel tersebut. Metode ini memberikan informasi tentang sejauh mana perubahan dalam satu variabel berhubungan dengan perubahan dalam variabel lainnya. Dengan menganalisis korelasi, kita dapat mengidentifikasi apakah ada hubungan positif, negatif, atau tidak ada hubungan sama sekali antara variabel-variabel tersebut.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Sumber : (Mustafa, 2023)

Dimana :

- R : Koefisien Pearson
- N : Jumlah data
- x & y : Mewakili variabel pertama dan kedua yang sedang dianalisis
- Σ : Simbol sigma yang menunjukkan penjumlahan.
- Σxy : Jumlah variable X dan Y
- Σx : Jumlah skor X
- Σy : Jumlah skor Y
- Σx^2 : Jumlah skor X kuadrat
- Σy^2 : Jumlah skor Y kuadrat