

BAB II

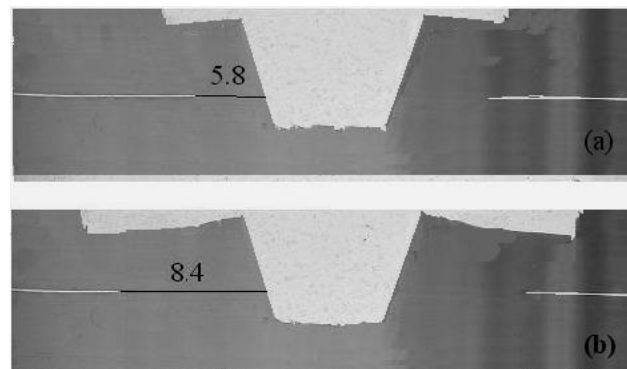
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang metode pengelasan *friction stir spot welding* (FSSW) dengan material *polypropylene* (PP) sudah pernah dilakukan, dengan menggunakan berbagai parameter seperti putaran *tool*, *dwelt time*, *plunge depth* dan bentuk geometri *tool*. Metode pengelasan FSSW dengan menggunakan material *polypropylene* sering diaplikasikan pada dunia otomotif, konstruksi, penerbangan, dan pertambangan. Metode pengelasan FSSW banyak digunakan pada industri otomotif terutama pada penyambungan material berbentuk plat.

Kurtulmus, dkk (2016) meneliti tentang pengaruh bentuk profil *pin tool* dan geometri *shoulder* terhadap kekuatan lasan pada metode pengelasan FSSW menggunakan material *polypropylene* parameter yang digunakan yaitu menggunakan empat macam bentuk profil *pin tool* yang berbeda dan menggunakan diameter *shoulder* 20 dan 30 mm. Hasil pengujian pada material *polypropylene* yang sudah dilakukan proses pengelasan menggunakan empat macam bentuk profil *pin tool* yaitu silinder lurus, silinder meruncing, silinder ulir dan segitiga dengan menggunakan variasi putaran *tool* antara 560 hingga 1400 rpm. Diperoleh nilai kekuatan lasan sebagai berikut beban *fraktur load* maksimum dari hasil pengelasan dengan menggunakan metode FSSW menggunakan variasi bentuk profil *pin tool* silinder meruncing menghasilkan nilai sebesar 4032 N. Sedangkan beban *fraktur load* terendah diperoleh dengan menggunakan bentuk profil *pin tool* silinder lurus dengan nilai sebesar 3305 N. Diameter pada masing-masing *pin tool* sama yaitu 7,5 mm. *Pin tool* dengan bentuk profil silinder meruncing yang mempunyai sudut *pin angle* 15°. Pengaruh diameter *shoulder* terlihat dari hasil pengujian yang telah dilakukan yaitu diameter *shoulder* 30 mm memiliki nilai *fraktur load* paling tinggi dibandingkan dengan ukuran lainnya dengan nilai 4000 N. gambar 2.1 menunjukkan perbedaan antara diameter *shoulder* 20 dan 30 mm terletak pada ketebalan *nugget* yang dihasilkan. Panjang *nugget* yang dihasilkan oleh *tool* dengan diameter *shoulder* 20 mm yaitu 5,8 mm sedangkan *tool* dengan diameter 30 mm

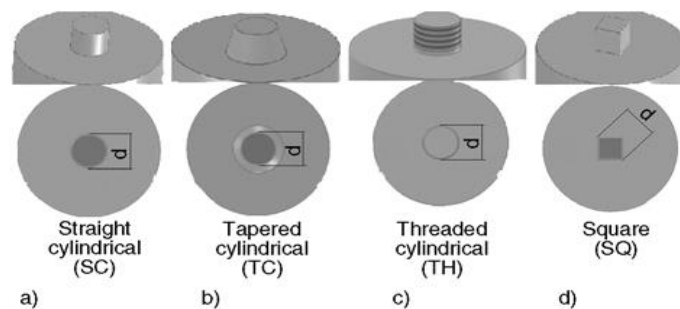
menghasilkan *nugget* dengan panjang 8,4 mm. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan gesekan yang terjadi antara *shoulder* dan permukaan material lebih besar akan menghasilkan panas yang lebih besar sehingga membuat area yang tersambung semakin luas.



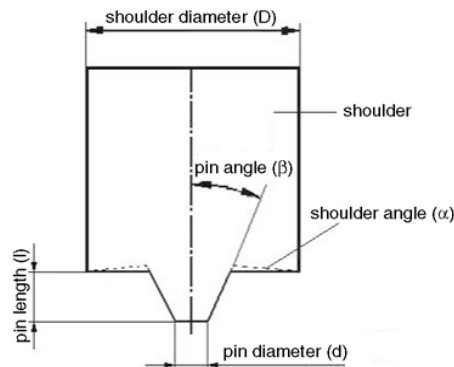
Gambar 2.1 Hasil foto makro (Kurtulmus, dkk, 2016)

Arici dan Mert (2008) meneliti tentang pengaruh kedalaman penetrasi *tool* dan *dwell time* pada sambungan tumpang menggunakan material *polypropylene*. Lembaran *polypropylene* yang di gunakan mempunyai tebal 5 mm lebar 60 mm dan panjang 120 mm. Pada proses pengelasan pertama menggunakan *dwell time* antara 10 hingga 250 detik. Kecepatan putar *tool* dan kedalaman penetrasi *tool* dipertahankan konstan pada 1250 rpm dan 9,5 mm. Dimensi *tool* yang di gunakan yaitu mempunyai diameter *shoulder* 37 mm, diameter *pin* 12 mm dan panjang *pin* 7,5 mm. Pada proses pengelasan kedua menggunakan kedalaman penetrasi *tool* 7 hingga 9 mm. Dimensi *tool* yang di gunakan yaitu mempunyai diameter *shoulder* 37 mm, diameter *pin* 12 mm dan panjang *pin* 6 mm. dan kecepatan putar *tool* 1250 rpm. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik instron 4411 dengan *cross head* 5 mm/min. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh *dwell time* sangat berpengaruh signifikan pada hasil uji tarik geser. Beban tarik meningkat hingga *dwell time* 80 detik yang merupakan puncak maksimum dengan nilai 5000 N. Setelah melewati itu nilai beban tarik stasioner di nilai 4000 N. Sementara itu untuk pengaruh kedalaman penetrasi *tool* terhadap uji tarik yaitu puncak *tensile failure load* terjadi pada penetrasi kedalaman *tool* antara 8 mm hingga 9 mm dengan kisaran nilai 4200 N.

Bilici (2012) meneliti tentang pengaruh geometri *tool* pada metode pengelasan FSSW dengan menggunakan material *polypropylene*. Lembaran *polypropylene* mempunyai tebal 4 mm dengan lebar 60 mm dan panjang 150 mm. Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa pada penelitian ini menggunakan empat macam tipe profil *pin tool* yang berbeda dan geometri *tool* dengan bentuk sebagai berikut

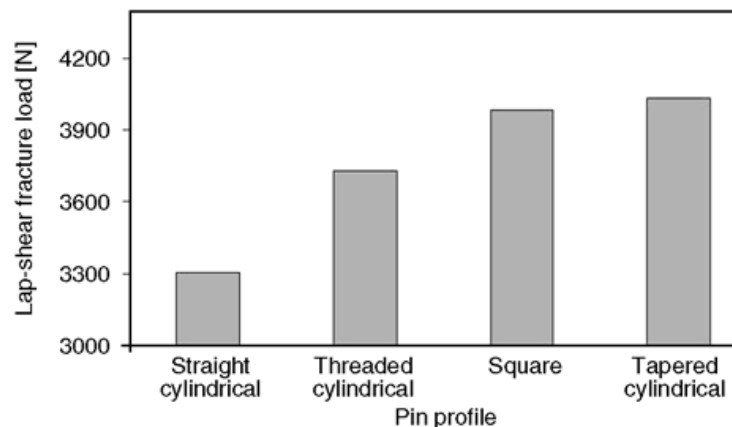


Gambar 2.2 Variasi bentuk *pin tool* (Bilici, 2012)



Gambar 2.3 Parameter geometri *tool* (Bilici, 2012)

Gambar 2.3 menunjukan parameter yang digunakan yaitu dipilih dari hasil publikasi sebelumnya. Parameter konstan seperti kecepatan putar *tool* 900 rpm, *dwell time* 105 detik, *delay time* 50 detik dan *tool plunge rate* 0,33 mm/s. Pada saat proses pengelasan setelah mencapai kedalaman yang telah ditentukan maka putaran di hentikan dan menunggu selama 50 detik sebelum *tool* di cabut. Setelah itu dilakukan proses pengujian dengan menggunakan meissn instron dengan *cross head* konstan yaitu sebesar 5 mm/s.



Gambar 2.4 Lap shear fracture load dari berbagai profil pin (Bilici, 2012)

Dalam tes yang dilakukan setiap *tool* memiliki diameter pin 7,5 mm, *shoulder angle* 6° dan diameter *shoulder* 30 mm. Untuk pin silinder meruncing mempunyai *pin angle* 15° . Beban maksimum *fracture load* diperoleh dengan menggunakan pin silinder meruncing dengan nilai 4032 N. Profil silinder lurus memiliki beban *fracture load* terendah dengan nilai 3305 N ditunjukkan pada gambar 2.4.

Dari beberapa hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa bentuk profil *pin tool* sangat pengaruh terhadap hasil kekuatan lasan pada metode FSSW. Bentuk profil *pin tool* silinder meruncing mempunyai nilai kekuatan terbaik. Dalam metode pengelasan FSSW juga terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil lasan selain profil *pin tool*, yaitu bentuk profil *shoulder*. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian dengan parameter bentuk *shoulder angle* pada metode pengelasan FSSW menggunakan material *polypropylene* yang masih belum banyak diteliti.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah salah satu proses ikatan metalurgi yang terjadi pada proses penyambungan dua buah material. Diantara kedua material tersebut dilakukan proses pemanasan secara bersamaan. Proses pengelasan akan sempurna apabila pada saat proses pengelasan dilakukan secara berlanjut dan dalam kondisi stabil. Aplikasi pengelasan sudah banyak dilakukan dalam dunia industri seperti : industri manufaktur, otomotif, maupun kontruksi.

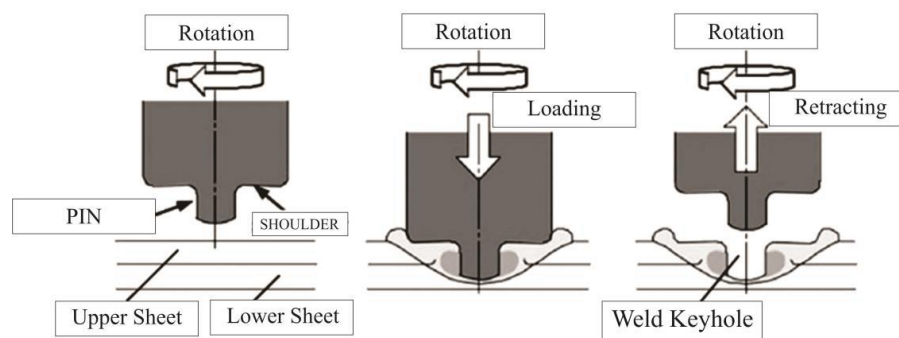
Dengan berkembangnya teknologi. Metode pengelasan banyak dikembangkan seperti pada proses pengelasan yang menggunakan bahan tambahan atau *filler* maupun pengelasan tanpa menggunakan bahan tambahan. Adapun proses pengelasan yang baru yaitu dengan memanfaatkan energi putaran yang dapat menimbulkan panas, sumber panas yang terjadi yaitu akibat gesekan antara *tool* dengan material. Panas tersebut bisa digunakan untuk proses pengelasan yang sering disebut dengan *friction welding*. Hal ini menyebabkan para peneliti banyak melakukan riset tentang pengelasan *friction welding*. Adapun untuk metode pengelasan yang mulai banyak dikembangkan adalah *friction stir spot welding* (FSSW).

2.2.2 Friction Stir Spot Welding (FSSW)

Friction Stir Spot Welding (FSSW) berbeda dengan *Friction Stir Welding* (FSW) karena FSSW dilakukan untuk jenis sambungan *lap-joint* tidak seperti FSW yang dilakukan pada sambungan *butt-joint*. Pada FSSW hanya dilakukan proses pengelasan pada satu titik atau yang diketahui sebagai *spot welding* sehingga tidak ada pergerakan secara alur terhadap material. Pengelasan FSSW merupakan teknologi penyambungan titik pada dua buah material yang pada umumnya berbentuk lembaran. Proses pengelasan ini tidak memerlukan bahan tambahan (*filler*). Metode pengelasan FSSW biasanya digunakan untuk menyambungkan dua material berbeda. Metode ini dapat digunakan untuk proses penyambungan dengan material yang berbeda titik leburnya.

Terdapat tiga tahapan dalam proses pengelasan FSSW yaitu *plunging*, *stirring* dan *retracting*. Ilustrasi tahapan proses pengelasan dapat dilihat pada gambar 2.5. Pada awal proses *tool* berputar dengan kecepatan tertentu. Kemudian ditekankan (*plunging*) pada permukaan material yang akan di las sehingga terjadi penetrasi *tool* masuk kedalam material bagian atas. Gesekan antara *tool* dengan material mengakibatkan kenaikan temperatur sehingga material yang mengalami gesekan dengan *tool* akan melunak. Kemudian masuk ke proses selanjutnya yaitu proses pengadukan (*stirring*), dimana pada kondisi ini *tool* berhenti menekan material akan tetapi masih tetap berputar selama

beberapa waktu. Material yang melunak pada atas dan bawah akan teraduk dan membentuk ikatan baru antar material. Pada proses ini akan memakan waktu selama beberapa detik, proses ini dinamakan *dwell time*. Setelah beberapa waktu, proses dihentikan dengan mematikan putaran *tool*. *Tool* belum langsung diangkat melainkan ditinggalkan selama beberapa saat, proses ini dinamakan dengan *delay time*. Lalu setelah itu *tool* baru dia angkat dari benda kerja dan akan menghasilkan *hole* bekas dari proses pengelasan.



Gambar 2.5 Prinsip kerja pengelasan FSSW (Yukler dan Bilici, 2012)

2.2.2 Karakteristik Potongan Melintang FSSW

Pengelasan dengan menggunakan metode FSSW akan menghasilkan 4 bagian karakteristik lasan pada material yang dilas. Bagian-bagian yang dihasilkan dari hasil pengelasan FSSW yaitu *Parent Material (PM)*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, *Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)*, dan *Stir Zone (SZ)* (Akinlabi and Mubiayi, 2015). *Parent Material (PM)* adalah bagian material yang paling jauh dari area lasan dan belum mengalami perubahan pada strukturnya. Bagian ini mungkin sudah mengalami siklus termal akan tetapi panas yang diterima belum mempengaruhi baik dalam hal makro ataupun sifat mekaniknya (Akinlabi and Mubiayi, 2015). *Heat Affected Zone (HAZ)* adalah bagian yang terletak lebih dekat dengan pusat area pengelasan dibandingkan dengan PM. Pada bagian ini sudah mengalami siklus termal selama proses pengelasan dan sudah mengalami perubahan baik secara makro atau sifat mekaniknya (Akinlabi and Mubiayi, 2015). *Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)* adalah area yang terletak di antara akibat panas yang dihasilkan dari

putaran *tool* menyebabkan terjadinya deformasi plastis pada material, mungkin untuk mendapatkan regangan plastis yang signifikan tanpa rekristalisasi pada bagian tersebut. Batas yang cukup jelas antara area TMAZ dengan area SZ (Akinlabi and Mubiayi, 2015). *Stir Zone* (SZ) adalah area yang sepenuhnya terjadi rekristalisasi karena daerah ini merupakan daerah yang terjadi kontak langsung antara *tool* dengan material yang di las. Ukuran butir pada daerah ini sangat berbeda dengan area PM dengan bentuk butir lebih kecil (Akinlabi and Mubiayi, 2015).

2.2.3 Perbandingan FSSW Dengan Proses Pengelasan Lain

Metode pengelasan FSSW memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, antara lain:

- Mengurangi distorsi
- Mengurangi *residual stress*
- Menghilangkan faktor ketidakcocokan *filler*
- Ramah lingkungan karena tidak meninggalkan residu

2.2.4 Aplikasi Pengelasan FSSW

Pengaplikasian metode pengelasan FSSW khususnya pada dunia industri otomotif sudah banyak dilakukan. Pada pengelasan FSSW jenis sambungan yang bisa buat yaitu jenis sambungan *lap joint*. Metode ini biasanya digunakan untuk melakukan penyambungan material seperti aluminium dan paduannya. Namun selain material logam metode ini juga dapat digunakan untuk menyambungkan material seperti polimer dan komposit. Pada material *polypropylene* pemilihan metode penyambungan dengan menggunakan FSSW dilakukan karena metode ini tidak memerlukan *filler* dan dapat menghasilkan kekuatan sambungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode penyambungan *skrew* atau lem.

2.2.5 Polimer

Polimer adalah senyawa molekul yang terbentuk menjadi rantai atau jaringan yang tersusun dari puluhan, ratusan, ribuan, hingga jutaan bagian pembangun secara berulang.

Jenis polimer berdasarkan sumbernya :

- Polimer alam, yaitu polimer yang tersedia oleh alam secara langsung, sebagai contoh: karet alam, protein, amilum, selulosa, dan asam nukleat.
- Polimer sintesis, yaitu polimer yang tidak tersedia oleh alam sebagai contoh polietilen, polipropilena, polistirena, PVC, dan polikarbonat.

Jenis polimer berdasarkan sifatnya :

- Termoplas yaitu polimer yang melunak jika dipanaskan, dan dapat dicetak kembali menjadi bentuk lain. Sifat ini disebabkan oleh struktur termoplas yang terdiri dari rantai-rantai panjang dengan gaya interaksi antar molekul yang lemah. Sifat-sifat lain dari termoplas adalah ringan, kuat, dan transparan. Contoh termoplas adalah polietilena, polipropilena, PVC, polikarbonat dan PET.
- Termoset yaitu polimer yang memiliki bentuk permanen dan tidak menjadi lunak jika dipanaskan. Sifat ini disebabkan oleh banyaknya ikatan kovalen yang kuat antara rantai-rantai molekul. Pemanasan termoset pada suhu yang terlalu tinggi dapat memutuskan ikatan-ikatan tersebut dan bahkan membuat termoset menjadi terbakar. Contoh termoset adalah bakelit dan melamin.
- Elastomer yaitu polimer yang elastis bentuknya dapat diregangkan, namun dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya tariknya dihilangkan. Elastisitas ini disebabkan oleh struktur elastomer yang terdiri dari rantai-rantai yang saling tumpang tindih dengan adanya ikatan silang (*cross-link*) yang akan menarik kembali rantai-rantai tersebut kembali ke susunan tumpang tindihnya. Contoh elastomer adalah karet alam (poliisoprena) dan karet sintetis.

2.2.6 Polypropylene

Polypropylene adalah salah satu polimer yang saat ini banyak digunakan oleh manusia. Mulai dari perlengkapan rumah tangga, karpet, tempat makanan sampai dengan kebutuhan industri seperti industri otomotif, penerbangan, konstruksi dan penambangan. *Polypropylene* memiliki masa jenis rendah (0,90 - 0,92) dan termasuk polimer paling ringan diantara bahan polimer yang lainnya. *Polypropylene* memiliki kelebihan dibandingkan polimer lainnya, antara lain kekuatan tarik, kekuatan lentur dan memiliki kekuatan yang tinggi, sifat mampu cetak yang baik, penyusutan saat pencetakan yang kecil, penampilan dan ketelitian dimensi baik, anti korosi serta harga yang relatif murah. Namun *polypropylene* juga memiliki kekurangan dibanding polimer lainnya, antara lain kekerasan yang rendah, rentan terhadap abrasi, dan memiliki kekuatan impak yang buruk terutama pada kondisi temperatur rendah. *Polypropylene* merupakan polimer yang bersifat *reusable* yang berarti dapat di daur ulang. Proses terbentuknya *polypropylene* adalah akibat dari proses polimerisasi, yaitu berikatannya monomer - monomer *propylene* yang berikatan rangkap. Ikatan rangkap tersebut menjadi jenuh ketika monomer *propylene* berikatan satu sama lain. Pada proses polimerisasi *polypropylene* tidak ada molekul yang hilang.

Tabel 2.1 Sifat - sifat *polypropylene* (www.steelplasta.com, 2010)

NO	Property	Unit	Value
1	<i>Density</i>	(g/cm ²)	0,91
2	<i>Yield Stress</i>	MPa	32
3	<i>Shore D Hardness</i>	MPa	70
4	<i>Melting temperature</i>	°C	170
5	<i>Modules of elasticity</i>	MPa	1400
6	<i>Thermal conductivity</i>	W/mK	0,22

2.3 Perekat

Perekat merupakan salah satu cara yang di gunakan untuk menyambungkan suatu benda. Proses penyambungan benda kali ini menggunakan lem G yang terbuat dari *Cyanoacrylate Etil* untuk menyambungkan material *polypropylene* dengan

posisi *lap joint*. Proses penyambungan tersebut dapat digunakan sebagai pembandingan nilai kekuatan tarik antara material yang menggunakan sambungan dengan metode FSSW. Kedua tipe sambungan ini menggunakan standar EN 12814-2. Selanjutnya akan dilakukan proses pengujian tarik dan hasil pengujian akan dijadikan perbandingan nilai kekuatan tariknya.

2.4 Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian material yang paling banyak dilakukan di dunia industri. Karena pada pengujian ini terbilang yang paling mudah dan banyak data yang dapat diambil dari pengujian ini. Data yang dapat diperoleh dari pengujian tarik antara lain: kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength*), kekuatan mulur (*Yield Strength or Yield Point*), Elongasi (*Elongation*), Elastisitas (*Elasticity*) dan Pengurangan luas penampang (*Reduction of Area*). Pada pengujian tarik menggunakan standar EN 12814-2 dengan bentuk sambungan dan dimensi spesimen *lap joint* 5 x 30 x 150 mm.

Salah satu hal yang dapat menyebabkan kegagalan pada pada sebuah elemen konstruksi mesin biasanya karena melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan mulur.

2.5 Uji Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) yang dimiliki oleh suatu material. Kekerasan pada suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Pada pengujian kekerasan menggunakan standar *Shore D* yang bisa dilakukan untuk pengujian kekerasan polimer.

Uji kekerasan merupakan metode pengujian yang paling efektif untuk mengetahui kekerasan suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat mengetahui gambaran sifat mekanis dari suatu material. Meskipun pengukuran yang dilakukan hanya pada suatu titik atau daerah tertentu saja nilai kekerasan yang dihasilkan cukup valid untuk menyatakan kekuatan dari suatu material. Dengan melakukan uji kekerasan, material dapat dengan mudah di golongkan sebagai material ulet atau getas.

2.6 Uji Struktur Makro

Uji Struktur makro merupakan salah satu metode pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara *raw* material dengan material yang sudah melewati sebuah proses *treatment* secara visual. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui lebih jelas tentang struktur makro yang ada pada suatu material.

Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui adanya cacat atau tidak pada material yang telah dilakukan proses *treatment* dengan begitu cacat yang terjadi dapat dianalisa dengan baik dan dapat diketahui penyebab serta cara mengatasinya.