

BAB 2

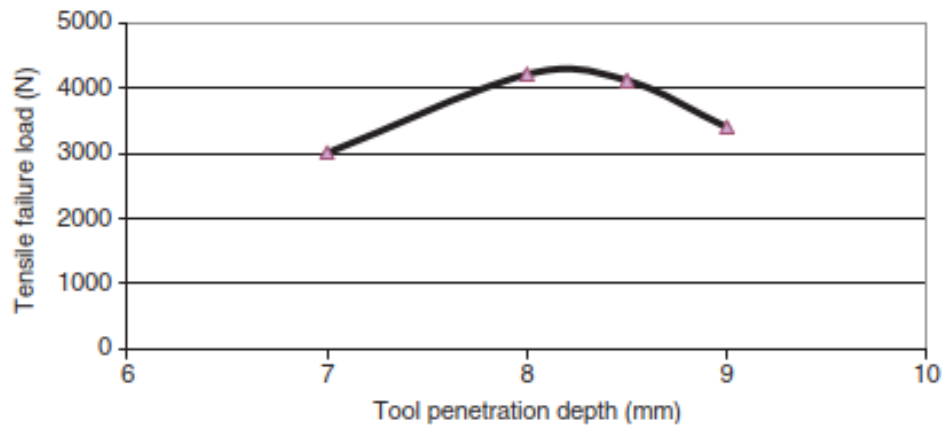
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Proses *friction Stir Spot Welding* (FSSW) memberikan banyak manfaat yang terkait dengan *friction stir welding* (FSW). Dalam FSW, alat digunakan untuk membuat hasil lasan yang cukup panjang, sementara proses FSSW membuat lasan di lokasi tertentu atau "tempat" dengan menggunakan alat yang sama. Secara umum, proses FSSW terdiri dari urutan penekanan, urutan pengadukan, dan urutan penarikan. Jumlah urutan ini merupakan total waktu siklus dari proses pengelasan. Proses terjun adalah prosen turunnya *tool* ke benda kerja, yang akan menghasilkan temperatur panas dari gesekan *tool* dan benda kerja. Kecepatan turun atau *tool plunge rate* yang cepat juga akan menyebabkan lebih banyak keausan pada *tool* karena material las kurang lunak pada tahap awal turunnya *tool*. Kecepatan turun *tool* memiliki pengaruh lebih besar pada kekuatan tarik geser. Waktu tinggal terdapat pada urutan pengadukan dan penarikan merupakan proses pengelasan yang paling dominan untuk kekuatan lasan diikuti oleh kecepatan rotasi (Jambhale, dkk ,2015).

Arici dan Mert (2008) melakukan penelitian kedalam penetrasi terhadap kekuatan sambungan dengan menggunakan *polypropylene* setebal 5 mm dengan dimensi 60 mm x 120 mm, kedua spesimen disambung menggunakan sambungan tumpang dengan area tumpang 60 mm x 60 mm. tool dengan dimensi diameter shoulder 37 mm, diameter pin 12 mm, dan panjang pin 7,5 mm. Saat proses pengelasan menggunakan kedalam penetrasi antara 7 mm sampai 9 mm dan *dwell time* antara 10s sampai 250s. Hasil pengelasan diuji tarik menggunakan mesin Instron 4411 dengan *cross head speed* 5 mm/min. Dari pengujian tersebut didapat nilai *tensile failure load* seperti gambar 2.1. Kekuatan tarik meningkat pada kedalam penetrasi 8 mm dan kekuatan tarik mulai menurun dengan bertambahnya kedalaman penetrasi yaitu pada kedalaman penetrasi 9 mm. Dengan meningkatnya kedalaman penetrasi tool akan berpengaruh pada beban tarik pada sambungan dan akan meningkatnya tekanan pada permukaan dibawah shoulder

dan akan membuat proses penekanan pada material meningkat yang menghasilkan ikatan yang lebih kuat. Dimana kedalaman penetrasi yang berlebihan menghasilkan penurunan ketebalan las yang signifikan dibandingkan dengan bahan dasar. Jadi penurunan ketebalan las tampaknya memiliki efek pada sambungan hasil las terhadap kekuatan tarik.

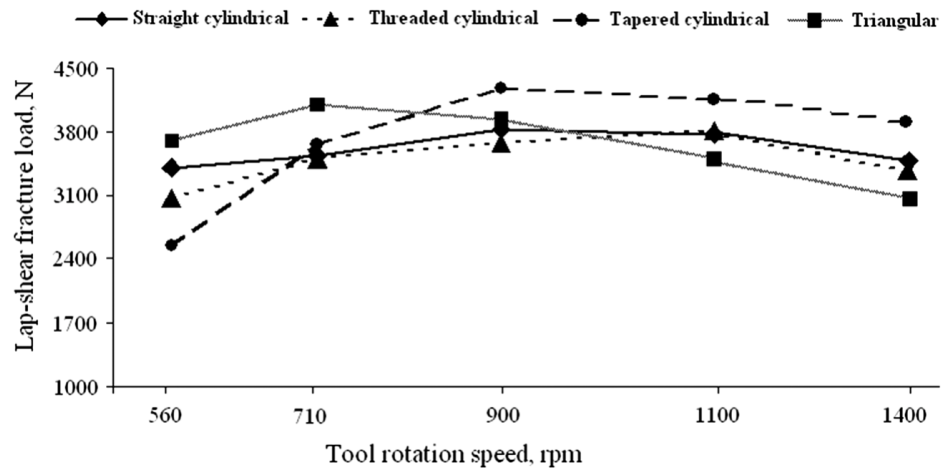


Gambar 2. 1 Efek kedalaman penetrasi pahat terhadap kekuatan tarik (Arici dan Mert., 2008)

Bilici dan Yukler (2012) meneliti tentang pengaruh geometri *tool* dengan parameter struktur makro dan kekuatan statis pada *polyethelene*. Material tersebut memiliki tebal 4 mm dengan dimensi 60 mm x 150 mm dengan luas area tumpang 60 mm x 60 mm. *Tool* menggunakan material baja SAE 1040 yang dipanaskan dan mempunyai kekerasan 40 HRC. Ada enam bentuk *pin tool* yang digunakan yaitu *pin* silinder lurus, *pin* silinder runcing, *pin* silinder berulir, *pin* kotak, *pin* segitiga, dan *pin* heksagonal. Setiap *pin tool* memiliki panjang *pin* 5,5 mm dengan diameter *pin* 7,5 mm. Untuk *pin tool* yang meruncing memiliki sudut 15° dan menggunakan *tool plunge rate* 0,33 mm/s, dengan kedalaman *shoulder* 0,2 mm, 0,7 mm atau 1,2 mm dari permukaan pada spesimen bagian atas. Menggunakan kecepatan putar *tool* antara 560 rpm sampai 1120 rpm dan *dwell time* yang digunakan 8 s sampai 90 s. pengujian sambungan menggunakan mesin INSTRON dengan kecepatan *cross head* konstan 5 mm/s. Untuk pengujian struktur makro menggunakan alat Leica R6125 rotary mikrotom sampai 40 μ m. Hasil pengujian

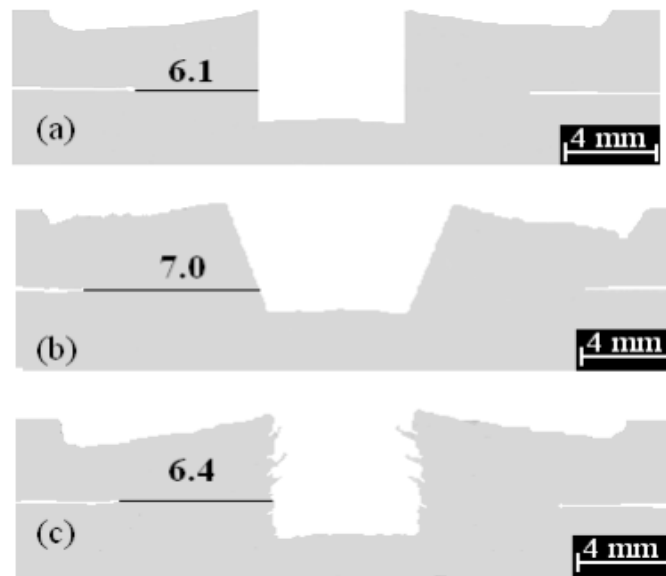
pada kecepatan putar 560 rpm sampai 1120 rpm, *tool plunge rate* 0,33 mm/s, *dwell time* 45 s dan kedalaman pengelasan 5,7 mm. Diperoleh nilai maksimal *tensile load* pada kecepatan putar 710 rpm yaitu 3600 N dengan menggunakan desain *pin tool* silinder runcing sedangkan desain *pin tool* silinder lurus memperoleh nilai *tensile load* terendah yaitu 2800 N dengan putaran yang sama. Karena pada *pin tool* silinder runcing memiliki kekuatan pengelasan yang tinggi menciptakan panas yang tinggi dari gesekan di sekitar *pin*. Panas dari gesekan yang tinggi menyebabkan suhu material meningkat di area pengelasan dan nugget yang tebal disebabkan oleh gaya pengelasan yang tinggi.

Bilici, dkk., (2014) melakukan penelitian menggunakan material *polypropylene* dengan tebal 4 mm, dengan dimensi specimen 60 mm x 150 mm dan luas area tumpang 60 mm x 60 mm. *Tool* menggunakan material baja SAE 1040 memiliki kekerasan 35 HRC. Menggunakan empat bentuk profil *pin tool* yaitu *pin* silinder lurus, *pin* silinder runcing, *pin* silinder ulir, dan *pin* segitiga, dengan dimensi panjang *pin* 5,5 mm, diameter *pin* 7,5 mm dan *pin* meruncing menggunakan sudut 15°. Menggunakan parameter *plung rate* 0,26 mm/s dan kedalaman pengelasan 0,2 mm yang diukur dari permukaan *shoulder*. Variasi kecepatan putar *tool* 560 rpm dan 1400 rpm, dengan *dwell time* 20 s dan 200 s. Hasil pengelasan diuji menggunakan mesin ZWICK dan untuk struktur makro mikrotom putar Leica R 6125 (20 µm). Didapatkan hasil dari pengujian tarik seperti pada gambar 2.2, beban fraktur maksimum (900 rpm) diperoleh dengan *pin* silinder meruncing (4280 N) dan *pin* silinder berulir menghasilkan beban fraktur terendah (3305 N). Pada *pin* silinder lurus, panas yang dihasilkan dari gesekan di area lasan redah yang membuat daerah ikatan las kecil dan diperoleh kekuatan yang sangat rendah. Dan *pin* yang meruncing menciptakan *nugget* yang lebih tebal dan area ikatan las yang lebih besar daripada *pin* yang lurus berbentuk silinder.



Gambar 2. 2 Pengaruh profil *pin tool* dan kecepatan putaran pahat pada kekuatan las (Bilici, dkk., 2014)

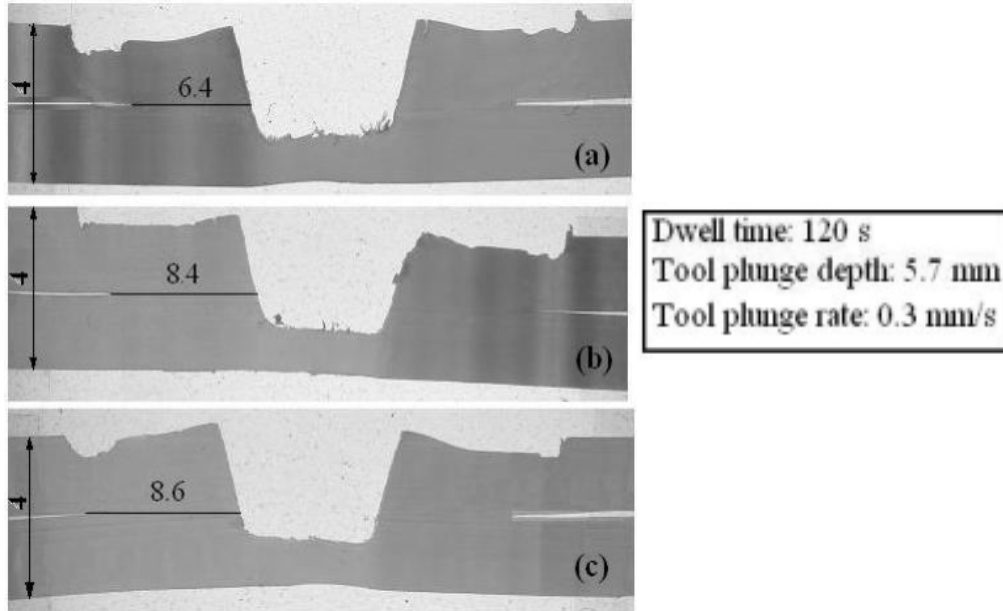
Bilici, dkk., (2016) melakukan penelitian menggunakan material yang akan dilas yaitu *high density polyethylene* (HDPE) dan *polypropylene* (PP) dengan parameter pengelasan dipilih sesuai dengan hasil FSSW yang diterbitkan lembar HDPE dan PP. Parameter kecepatan putar *tool* yang digunakan yaitu 560 rpm sampai 1400 rpm. Saat proses pengelasan menggunakan enam bentuk *pin tool* yaitu *pin* silinder lurus, *pin* silinder meruncing, *pin* silinder berulir, *pin* segitiga, *pin* persegi dan *pin* heksagonal, semua *tool* menggunakan diameter *pin* 7,5 mm, diameter *shoulder* 30 mm dan *shoulder angle* 6°. Menggunakan *plung rate* 3,3 mm/s dan kedalaman *shoulder* 0,2 mm. Hasil pengelasan diuji menggunakan dynamometer KISTLER 9443B. Beban fraktur maksimum diperoleh dengan *pin* silinder meruncing (4032 N). Bentuk profil *pin* lurus silinder memberi beban patah terendah (3305 N). Karena pada metode FSSW dengan *polymer*, gaya pengelasan meningkat dengan sudut *pin*. *Pin* yang meruncing menghasilkan lebih banyak panas gesekan dan ketebalan nugget yang lebih besar daripada *pin* silinder lurus. Karena kekuatan pengelasan yang lebih tinggi menghasilkan panas lebih tinggi dan area ikatan las yang lebih besar yang membuat kekuatan las meningkat. Perbedaan hasil pengelasan antara bentuk *pin* dapat dengan mudah dijelaskan dengan ketebalan *nugget* dari hasil lasan seperti gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Pengaruh bentuk profil *pin* pada pembentukan *nugget* lasan pada HDPE (a) *pin* silinder lurus, (b) *pin* silinder meruncing dan (c) *pin* silinder lurus berulir (Bilici, dkk., 2016)

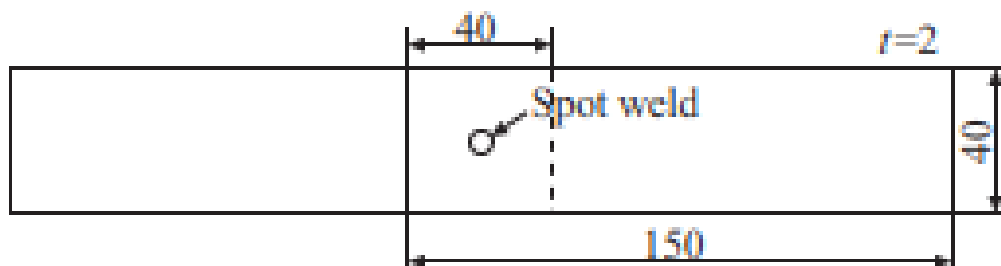
Kurtumulus (2012) meneliti tentang pengaruh *dwelt time*, *delay time*, kecepatan putar *tool*, *plunge dept*, dan *plunge rate* dengan menggunakan material *polypropylene* dengan tebal 4 mm. Dimensi material 60 mm x 150 mm dan area penampang pengelasan sebesar 60 mm x 60 mm. Material yang digunakan untuk membuat tool yaitu baja SAE 1050 dan memiliki kekerasan 40 HRC. Dengan dimensi tool yang digunakan yaitu diameter *shoulder* 30 mm, *shoulder angle* 6°, panjang *pin* 5,5 mm, dan *pin angle* 15°. Menggunakan *dwelt time* 60 s sampai 150 s, *delay time* 0 s sampai 60 s, kecepatan putar *tool* 500 rpm sampai 1500 rpm, *plunge dept* 5,5 mm sampai 7,1 mm, dan *plunge rate* 0 mm/s sampai 4 mm/s. Hasil pengujian dari lima variasi tersebut diperoleh nilai kekuatan lasan sebagai berikut beban *lap shear tensile force* maksimum dengan hasil 4300 N didapatkan dengan variasi *dwelt time* 120 s, *delay time* 30 s, putaran tool 900 rpm, *plunge dept* 5,7 mm, dan tool *plunge rate* 0,3 mm/s. Sedangkan beban *lap shear tensile force* minimum dengan hasil 2500 N dengan variasi *dwelt time* 120 s, *delay time* 0 s, putaran tool 900 rpm, *plunge dept* 5,7 mm dan *plunge rate* 0,3 mm/s. Beberapa variasi tersebut sangat penting dalam metode FSSW, karena akan memiliki

pengaruh pada kekuatan sambungan dan berpengaruh pada panjang *nugget* yang dihasilkan. *Nugget* yang dihasilkan seperti gambar 2.4.

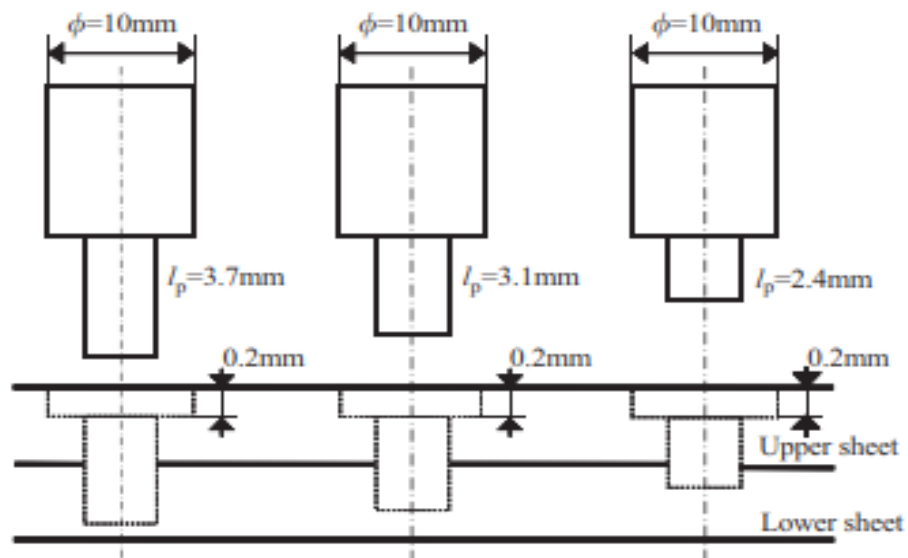


Gambar 2. 4 Efek dari kecepatan putar *tool* pada penampang sambungan. (a), kecepatan putar *tool* 710 rpm; (B), kecepatan putar tool 900 rpm; (c), kecepatan putar *tool* 1100 rpm.

Tozaki, dkk., (2007) meneliti tentang pengaruh geometri *tool* dengan metode FSSW dengan menggunakan material aluminum 6061-T4 dengan dimensi yang ditunjukkan gambar 2.3. Seperti dilihat pada gambar 2.5, tiga geometri pin yang berbeda yaitu 3,7 mm, 3,1 mm dan 2,4 mm dengan diameter *shoulder* 10 mm ditunjukkan pada gambar 2.6. Kecepatan putar dan *dwell time* tool juga bervariasi, yaitu 2000 rpm, 2500 rpm dan 3000 rpm, dan 0,2 s, 1 s dan 3 s, masing-masing spesimen.



Gambar 2. 5 Dimensi specimen uji (dalam mm) (Tozaki, dkk., 2007)



Gambar 2. 6 Dimensi dan bentuk *tool* (Tozaki, dkk., 2007)

Hasil pengelasan diuji tarik dengan standar JIS Z3136, didapatkan kekuatan tarik geser tertinggi yaitu 42 kN dengan parameter *dwell time* 1 s dan kecepatan putar tool 2500 rpm. Untuk kekuatan tarik geser terendah didapatkan dengan parameter 0,2 s dengan kecepatan putar tool 200 rpm.

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa bentuk profil *pin tool* dan tipe sambungan sangat berpengaruh terhadap hasil kekuatan lasan dengan metode FSSW. Bentuk profil *pin tool* silinder meruncing dan sambungan tumpang tindih menghasilkan nilai kapasitas beban tarik tertinggi. Dalam metode pengelasan FSSW juga terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil lasan selain profil pin tool, yaitu panjang pin dan bentuk profil shoulder. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian dengan *shoulder angle* dan variasi putaran pada metode pengelasan FSSW dengan material *polypropylene* yang masih belum banyak diteliti.

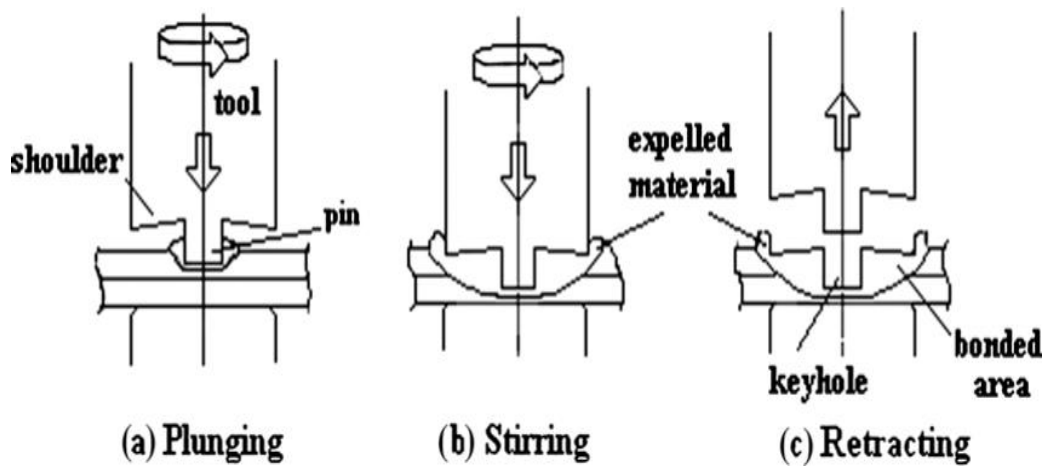
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah salah satu proses ikatan metalurgi pada saat menyambung dua buah material atau lebih, diantara kedua material terjadi proses pemanasan. Proses pengelasan akan sempurna apabila pengelasan dilakukan secara berlanjut sampai mencapai titik leleh dan dalam kondisi yang stabil. Aplikasi pengelasan sudah banyak dilakukan seperti saat ini misalnya pada dunia otomotif, industri manufaktur, maupun manufaktur. Seiring berkembangnya zaman, teknologi pengelasan banyak dikembangkan, seperti pada proses yang menggunakan bahan pengisi atau *filler* maupun pengelasan tanpa menggunakan bahan pengisi. Saat ini ada pengeleasan baru yaitu dengan memanfaatkan energi putaran untuk membuat panas. Sumber panas yang dihasilkan akibat gesekan tool dengan material. Panas hasil gesekan kedua benda dapat digunakan untuk pengelasan yang biasa disebut *friction welding*. Adapun metode pengelasan yang mulai banyak dikembangkan yaitu *friction stir spot welding* (FSSW).

2.2.2 Friction Stir Spot Welding (FSSW)

Menurut Yang, dkk., (2010) pengelasan *friction stir spot welding* merupakan teknologi penyambungan titik pada dua buah material dengan sambungan tumpang atau *lap joint*, material yang digunakan biasanya berbentuk lembaran. Pada proses pengelasan ini tidak menggunakan bahan tambangan atau *filler* saat proses pengelasan. Metode pengelasan FSSW biasanya digunakan untuk proses penyambungan dua material yang memiliki titik lebur yang berbeda maupun material yang memiliki titik lebur yang sama.



Gambar 2. 7 Prinsip kerja pengelasan FSSW (Kurtulmus., 2012)

Pada gambar 2.7 menjelaskan prinsip kerja pengelasan FSSW, terdapat tiga tahapan dalam proses pengelasan yaitu *plunging*, *stirring*, dan *retracting*. Pertama, awal proses penegelasan tool berputar dengan kecepatan tertentu, selanjutnya *tool* ditekankan atau plunging pada permukaan material yang akan disambungkan sehingga terjadi gesekan *tool* dengan material bagian atas. Gesekan yang terjadi menimbulkan kenaikan temperatur sehingga membuat material yang bergesekan dengan tool menjadi lunak. Kedua, proses pengadukan atau *stirring*. Dimana kondisi *tool* berhenti menekan material saat mencapai kedalaman tertentu, tetapi tool masih berputar selama waktu tertentu. Material yang melunak akan membentuk ikatan baru antar material. Untuk sekali proses pengelasan membutuhkan waktu selama beberapa detik, setelah beberapa waktu proses mematikan mesin dan *tool* berhenti dinamakan *dwel time*. Saat *tool* sudah berhenti perputar tidak langsung diangkat melainkan didiamkan untuk beberapa saat, proses ini dinamakan *delay time*. Selanjutnya tool diangkat dari benda kerja dan akan menghasilkan *hole* dari hasil pengelasan.

2.2.3 Pengertian *Polymer*

Polymer berasal dari bahasa Yunani, yaitu *poly* dan *meros* yang artinya banyak dan unit atau bagian. *Polymer* dapat didefinisikan makro molekul yang

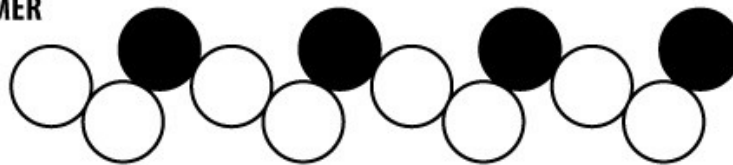
terdiri dari monomer molekul-molekul terkecil, pengertian lain menjelaskan *polymer* merupakan senyawa kimia atau senyawa campuran yang terbentuk dari proses polimerisasi seperti gambar 2.8.

Structure of Monomers and Polymers

MONOMER



POLYMER



A polymer is a long-chain molecule made up of a repeated pattern of monomers.

Gambar 2. 8 Struktur dari monomer dan polymer (<https://socratic.org/questions>)

Polymer dibedakan menjadi dua yaitu, *polymer* alam dan *polymer* sintesis atau senyawa kimia. *Polymer* alam adalah polimer yang tersedia oleh alam secara langsung, misalnya protein, karet alam, amilum, selulosa, dan asam nukleat. Sedangkan *polymer* sintesis adalah *polymer* yang tidak tersedia oleh alam, misalnya *polietilene*, *polipropilene*, *polistirena*, PVC, teflon, dan *polikarbonat*.

2.2.4 Polypropylene

Polypropylene adalah salah satu *polymer* 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 g/cm³) dan termasuk polimer paling ringan diantara bahan *polymer* yang lainnya. *Polypropylene* memiliki kelebihan dibandingkan *polymer* 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 *polymer* 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 *reusakle* 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 ³)	0,91
2	<i>Yield Stress</i>	MPa	32
3	<i>Shore D Hardness</i>	MPa	70
4	<i>Melting temperature</i>	°C	+162
5	<i>Modules of elasticity</i>	MPa	1400
6	<i>Thermal conductivity</i>	W/mK	0,22

2.2.5 Keunggulan *Polypropylene*

Polypropylene memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu, mudah dalam pengolahannya, memiliki pengaplikasian yang luas misalnya mobil, industri minyak dan gas. Namun untuk pengaplikasian dibidang rekayasa termoplastik masih terbatas penggunaannya karena ketahanan benturan yang relatif buruk pada ruangan atau suhu rendah dan kekerasan yang rendah (Prasad, dan Raghava., 2012).

2.3 Perekat

Perekat merupakan salah satu cara atau media yang digunakan untuk menyambungkan dua buah benda atau lebih. Proses penyambungan benda kali ini menggunakan lem dengan komposisi *cyanoacrylate etil* untuk menyambungkan dua buah material *polypropylene* dengan posisi *lap joint*. Proses penyambungan tersebut dapat digunakan sebagai pembandingan nilai kekuatan tarik antara material yang menggunakan sambungan dengan metode FSSW dengan material yang menggunakan sambungan lem. Kedua sambungan sama-sama menggunakan standar EN 12814-2. Selanjutnya akan dilakukan proses pengujian tarik dan hasil dari pengujian akan dijadikan perbandingan nilai kekuatannya.

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 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

pergesekan (*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 *polymer*.

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 digolongkan 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.