

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Persiapan

Melakukan perisapan sebelum penelitian penting untuk dilakukan. Pada tahap ini semua yang diperlukan dalam penelitian dipersiapkan dengan tujuan untuk mempermudah proses dalam penelitian, mengurangi penyimpanan jadwal penelitian dan dapat mempercepat proses penelitian.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Pembuatan spesimen DCP SS AISI 316L

1. Alat

- a. Mistar
- b. Tang
- c. *Safety glasses*
- d. Sarung tangan *safety*
- e. Gerinda potong
- f. Ragum
- g. *Vernier caliper*
- h. *Machining center* CNC
- i. Mesin *milling/frais*
- j. Mesin uji tarik atau tekan (*universal testing machine / UTM*)
- k. *Jig* dan *dies* penekuk plat

2. Bahan

- a. Plat *stainless steel* 316L dengan ketebalan 4 mm
- b. Mata gerinda potong
- c. Ampelas dengan mesh nomor 300, 600 dan 1000
- d. Air dan *turbocut coolant*
- e. *Endmill* HSS 4 *Flute* Ø12 mm
- f. *Carbide Chamfer Mill* Ø12 mm
- g. Mata bor Ø5 mm

3.2.2. Pembuatan *jig* dan *dies* penekuk plat DCP

Jig dan *dies* penekuk plat dibuat di BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta.

1. Alat
 - a. *Vernier caliper*
 - b. *Machining center* CNC
 - c. Mesin las oksi-asitelin
2. Bahan
 - a. Baja paduan
 - b. Air dan *turbocut coolant*

3.2.3. Pembendingan spesimen DCP SS AISI 36L

1. Alat
 - a. *Jig* dan *dies* penekuk DCP SS AISI 36L



Gambar 3.1 *Jig* dan *dies* penekuk plat DCP

b. Mesin uji tekan atau tarik (UTM)



Gambar 3.2 Mesin tekan (UTM) untuk menekan DCP di dalam *jig* dan *dies*

2. Bahan

Spesimen DCP SS AISI 316L

3.2.4. Pembuatan rangka dalam mesin *shot peening*

Rangka dalam mesin *shot peening* dibuat di BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta.

1. Alat

- a. Mistar dan rol meter
- b. Penggaris siku
- c. Gerinda potong
- d. Mesin penekuk plat
- e. Mesin las listrik
- f. *Ring pass (combination)* dengan ukuran 12 mm dan 17 mm
- g. Mesin bor

2. Bahan

- a. *Box* plastik kapasitas 35 liter dengan dimensi 47 cm x 32 cm x 27 cm
- b. Plat baja (lebar 19 mm dan tebal 3 mm)
- c. *Spray gun* dengan *nozzle* Ø10 mm
- d. *Pressure gauge*
- e. Selang tahan panas dengan Ø15 mm
- f. Mur dan baut
- g. *Double tape foam*
- h. *Ring* plat dengan *Di* 12 mm
- i. Klem selang
- j. *Seal tape*
- k. *Ball valve compressor* ukuran ¼

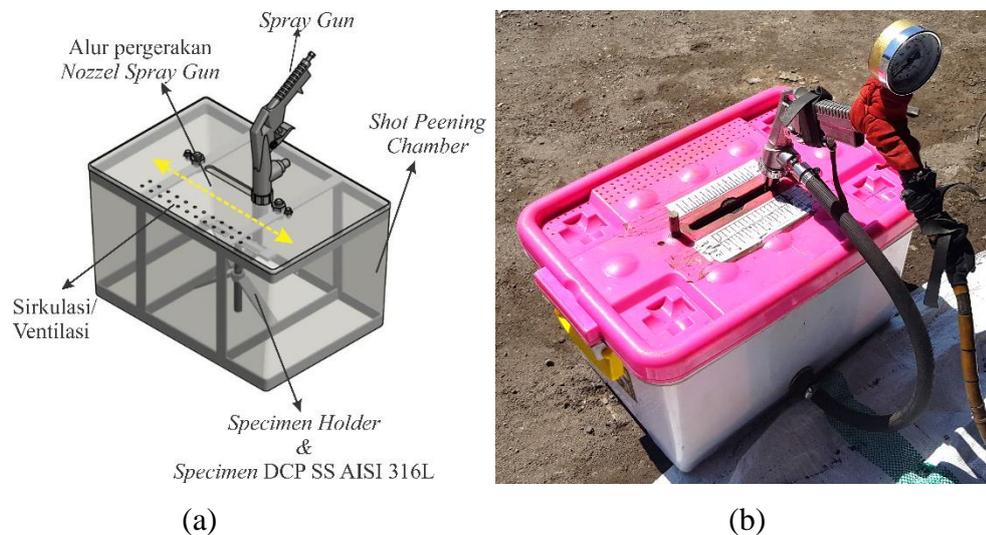
3.2.5. Proses perlakuan *shot peening*

1. Alat yang digunakan selama perlakuan *shot peening*

a. Mesin *shot peening*

Mesin *shot peening* merupakan mesin yang terbuat dari *box* plastik yang dimodifikasi. Kapasitas *box* plastik adalah 35 liter dengan dimensi 470×320×270 mm. Beberapa modifikasi tersebut adalah *box* plastik diperkuat dengan penambahan rangka besi pada bagian dalam *box* plastik seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Penambahan lubang pada bagian bawah *box* plastik untuk disambungkan dengan selang pendistribusi *steel ball* ke *spray gun*. Membuat lubang alur sepanjang 150 mm untuk jalanya *spray gun* pada bagian tutup *box* plastik. Modifikasi terakhir yaitu membuat lubang kecil-kecil pada bagian tutup *box* plastik yang digunakan sebagai sirkulasi udara untuk menjaga ketersediaan udara di dalam *box*.

Perlengkapan tambahan pada *box* plastik ini adalah *spray gun*, selang distribusi *steel ball*, *pressure gauge*, alat ukur kecepatan pergerakan *spray gun* (mm/s) yang ditempel didekat alur *spray gun* dan *holder* spesimen. Jarak penembakan *shot peening* dari ujung *nozzle spray gun* sampai ke *holder* spesimen adalah 100 mm.



Gambar 3.3 Mesin *shot peening*, (a) Desain rangka dan *box shot peening*, (b) *Box shot peening*.

b. Kompresor

Kompresor udara yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan yang dimampatkan dalam tangki penyimpanan dan mengalirkannya menuju *spray gun* menggunakan selang udara sehingga udara bertekanan akan bercampur dengan *steel ball* pada nozel *spray gun*.



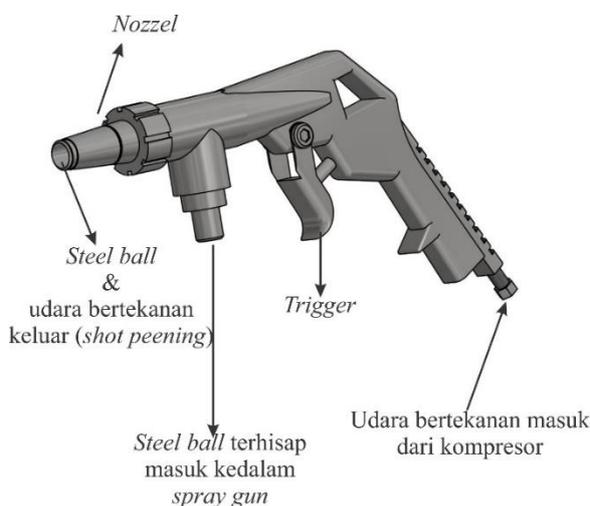
Gambar 3.4 Kompresor udara pada penelitian *shot peening*

Steel ball yang bercampur dengan udara bertekanan akan menumbuk permukaan spesimen. Jenis kompresor yang digunakan dalam *shot peening* ini adalah *direct coupling air compressor* dengan tenaga penggeraknya

adalah mesin *diesel*. Tekanan kerja selama proses perlakuan *shot peening* adalah 6 bar dengan durasi *shot peening* paling lama 12 menit dan tekanan kerja maksimal yang dimiliki kompresor 15 bar dengan kapasitas 250 liter.

c. *Spray Gun*

Aliran udara bertekanan dari *compressed air* keluar dari lubang udara (*fluid tip*) pada *nozzel* sehingga tekanan negatif muncul dan menghasilkan kevakuman yang dapat menghisap *steel ball* dari *box shot peening* dan menembakkannya kepermukaan secara bersamaan dengan tekanan udara yang tinggi. Jenis *spray gun* yang digunakan dalam penelitian adalah *spray gun suction feed*.



Gambar 3.5 *Spray gun*

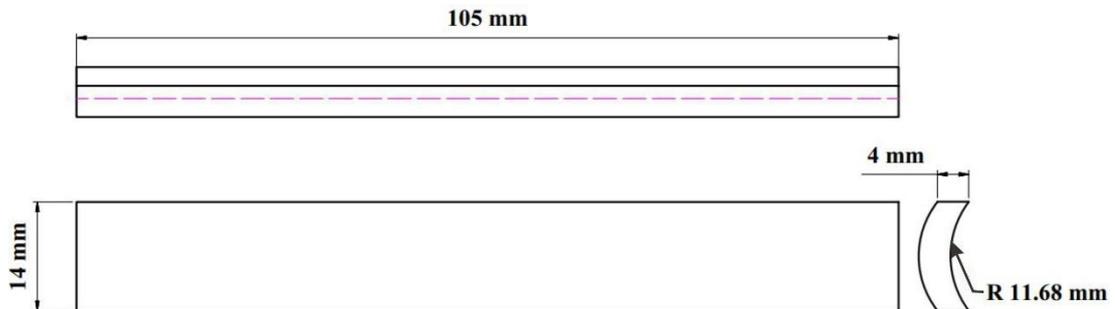
d. Kamera

Kamera digunakan sebagai dokumentasi selama proses penelitian dan digunakan untuk pengujian *wettability* dengan mengambil gambar dari sisi samping permukaan spesimen sehingga diketahui sudut kontak.

e. *Stopwatch*

Stopwatch adalah penghitung waktu yang diperlukan saat proses *shot peening* berlangsung. Selain berfungsi sebagai penghitung durasi selama perlakuan *shot peening*, *stopwatch* digunakan sebagai penentu pergerakan per detiknya dengan variasi waktu 8, 10 dan 12 menit. *Stopwatch* yang digunakan pada penelitian ini memanfaatkan *stopwatch* di jam tangan agar

lebih mudah dalam melihat waktu pergeseran sehingga respon pergerakan *spraygun* lebih cepat atau tepat waktu.



Gambar 3.6 Dimensi spesimen DCP

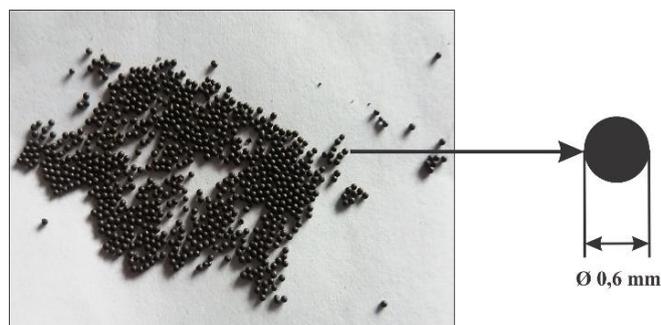
2. Bahan yang digunakan pada perlakuan *shot peening*

a. Spesimen DCP SS AISI 316L

Pada penelitian ini material yang digunakan untuk perlakuan *shot peening* adalah *stainless steel* AISI 316L (SS AISI 316L) yang berbentuk plat dengan ketebalan 4 mm. Dimensi spesimen pada penelitian ini mengikuti dimensi untuk plat penyambung tulang (DCP) tangan bagian lengan atas dan bawah, yaitu 105×14×4 mm (Saputra, 2016). Sehingga plat SS AISI 316L yang masih lembaran harus dibentuk sesuai dimensi, seperti pada Gambar 3.6.

b. *Steel ball*

Material *abrasive* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *steel ball* dengan diameter 0,6 mm merk *ferrosad*. Gambar detail dimensi *steel ball* dapat dilihat Gambar 3.7 dan untuk spesifikasi (*chemichal analysis*) serta standar kekerasan *steel ball* tercantum pada Tabel 3.1.



Gambar 3.7 Dimensi *steel ball* dengan diameter 0,6 mm

Tabel 3.1 *Chemical analysis* dan standar kekerasan *steel ball*.
(Sumber : <http://ferrosad.com/en/5110-2/#ferrosad>)

<i>Chemichal analysis</i>				
Karbon (%)	Magnesium (%)	Silikon (%)	Sulfur (%)	Phospor (%)
0,10	1,15	0,15	0,015	0,015
<i>Hardness</i>				
HV1 (ISO 11125-3/ISO 6507)				
Ketika <i>stell ball</i> baru		Ketika <i>stell ball</i> sudah digunakan		
390-430		440-480		

c. *Double tape foam*

Isolasi busa bolak-balik digunakan untuk menempelkan spesimen DCP ke *holder* agar saat perlakuan *shot peening* berlangsung.

d. Potongan kain untuk penutup dan penyaring sirkulasi udara.

3.2.6. Proses pembuatan lubang spesimen DCP SS AISI 316L

1. Alat

a. *Machine center* CNC



Gambar 3.8 *Machining center* CNC merk *FIRST* model MCV 300

b. *Vernier caliper*

2. Bahan

- a. Spesimen DCP SS AISI 316L yang sudah *dishot peening*
- b. Mata bor *twist drill* Ø 5 mm dan *counter sink bits* (lubang *vershing*)
- c. Air dan *turbocut coolant*

3.2.7. Proses Pengujian

1. Alat

- a. Alat uji struktur mikro

Pengujian struktur mikro pada spesimen DCP SS AISI 316L dilakukan dengan mengambil foto mikro pada penampang melintang pada bagian tengah antara dua lubang sekrup, seperti yang terlihat pada Gambar 3.26. Pengujian struktur mikro pada penelitian ini menggunakan *optical microscope* (Gambar 3.9) dengan skala pembesaran 100× yang dilakukan di laboratorium D3 teknik mesin Universitas Gadjah Mada.



Gambar 3.9 Alat uji struktur mikro *optical microscope*.

- b. Alat uji struktu makro

Pengujian struktur makro dilakukan dengan mengambil foto makro pada permukaan spesimen DCP SS AISI 316L. Pengujian strktur makro menggunakan *stereo microscope* dengan pembesaran rendah yang dilakukan di gedung G6 laboratorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.10 Alat uji dstruktur makro *stereo microscope*.

c. Alat uji kekasaran

Pengukuran tingkat kekasaran pada permukaan spesimen DCP SS AISI 316L dilakukan setelah perlakuan *shot peening* dan pembuatan lubang selesai dengan alat uji kekasaran TR-200 (Gambar 3.11). Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di gedung G6 laboratorium FDM teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.11 Alat uji kekasaran TR-200

d. Alat uji kekerasan mikro

Pengujian kekerasan mikro dilakukan pada penampang melintang pada bagian tengah antara dua lubang sekrup seperti yang terlihat pada Gambar 3.26. Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *Vickers* (merk: shimadzu HVM-M3) dengan jumlah 5 titik (jarak titik dari permukaan adalah 25, 50, 100, 150 dan 200 μm), beban indentasi *microhardness* 25 gf (0.245 N) dan ditahan selama 5 detik. Pengujian

kekerasan mikro dilakukan di laboratorium D3 teknik mesin Universitas Gadjah Mada.



Gambar 3.12 Alat uji kekerasan mikro dengan metode *Vickers*

e. *Vernier caliper*

Vernier caliper atau jangka sorong digunakan untuk mengukur geometri spesimen DCP seperti ketebalan, diameter lubang dan sumbu panjang dan sumbu pendek (*elips*) setelah perlakuan *shot peening* dan *drilling*. Pengukuran ketebalan berfungsi untuk mengetahui perubahan ketebalan spesimen DCP terhadap variasi waktu perlakuan *shot peening*. Pengukuran ketebalan dilakukan pada tepi spesimen DCP pada tiga titik berbeda yaitu bagian ujung kiri, tengah dan ujung kanan. Pengukuran ketebalan dan diameter lubang dilakukan di BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta.



Gambar 3.13 Alat ukur geometri spesimen DCP (*vernier caliper*)

f. Alat uji *wettability*

Pengujian *wettability* pada permukaan spesimen DCP dilakukan menggunakan alat suntik (*sprit*) ukuran 3 cc/ml (Gambar 3.14) ukuran jarum suntik sebagai alat penetes air ke permukaan spesimen adalah $0,6 \times 32$ mm. Kamera digunakan untuk pengambilan foto tetesan dari sisi samping spesimen untuk mengetahui sudut kontak air dengan permukaan spesimen. Pemberian tetesan air di atas permukaan spesimen DCP dilakukan sebanyak 3 kali tetes dan dilakukan pengambilan foto dari samping lalu foto diolah menggunakan aplikasi *coreldraw* untuk mengetahui besar sudut kontakannya. Pengujian *wettability* dilakukan di gedung G6 laboratorium FDM teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Gambar 3.14 Alat uji *wettability* (*sprit*)

g. Gergaji besi atau *hack saw*

2. Bahan

a. Spesimen DCP SS AISI 316L

Spesimen DCP yang diuji dalam penelitian ini ada dua jenis, yaitu spesimen *raw material* dan spesimen yang sudah mendapatkan perlakuan *shot peening* sebelum *drilling* dengan tiga variasi waktu perlakuan (8, 10, dan 12 menit), seperti dyang ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Spesimen DCP SS AISI 316L yang diuji dalam penelitian, (a) spesimen dengan perlakuan *shot peening* (b) *raw material*

- b. Ampelas dengan mesh nomor 600, 1000, 1500 dan 2000
- c. Alkohol 70%
- d. Tisu sebagai pembersih
- e. Esta (cairan *aqua regia* yaitu campuran *Hidrlcloric Acid* dan *Nitrid Acid*)
- f. Resin
- g. Pasta poles logam
- h. Air

3.3. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah variasi waktu penembakan *shot peening*, yaitu 8, 10 dan 12 menit. Perlakuan *drilling* pada spesimen DCP bertujuan untuk membuat lubang dan dilakukan setelah perlakuan *shot peening* selesai. Setiap variasi waktu penembakan menggunakan 3 buah spesimen DCP sehingga total untuk tiga variasi waktu memerlukan 9 buah spesimen DCP dan ditambah 1 spesimen DCP tanpa perlakuan (*raw material*).

Tekanan kerja penembakan *shot peening* dipertahankan pada tekanan 6 bar dan diameter material *abrasive (steel ball)* adalah 0,6 mm. Jarak penembakan *shot peening* dari *nozlle spray gun* ke spesimen DCP adalah 100 mm dengan sudut penembakan 90°.

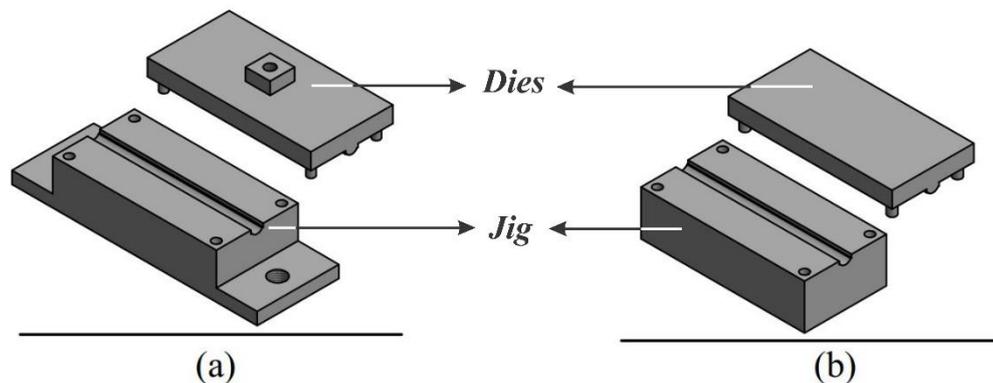
3.4. Tahapan Proses Penelitian

Tahapan proses penelitian ini dilakukan secara bertahap dari awal hingga akhir penelitian, di antaranya :

3.4.1. Tahap proses pembuatan *jig* dan *dies* penekuk plat spesimen DCP

Langkah awal pada penelitian ini adalah membuat *jig* dan *dies* sebagai penekuk spesimen DCP yang digunakan setelah proses pembuatan spesimen DCP selesai. Alat penekuk *jig* dan *dies* didesain khusus untuk profil tulang lengan bagian atas dan lengan bagian bawah manusia. Pada penelitian ini desain *jig* dan *dies* merupakan desain ulang dari peneliti sebelumnya (Saputra (2016)). Langkah-

langkah dalam pembuatan *jig* dan *dies* sebagai penekuk spesimen DCP sebagai berikut:

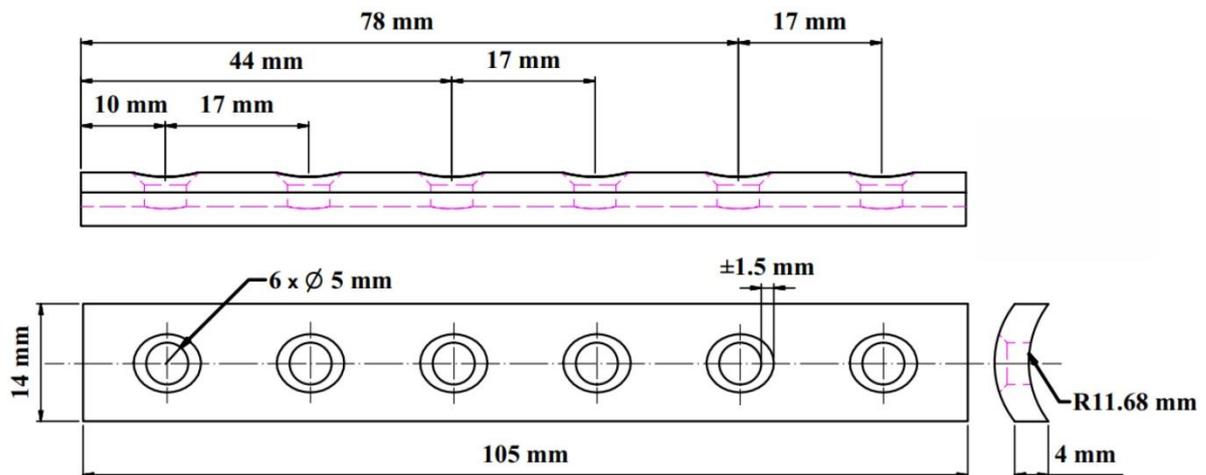


Gambar 3.16 Perbedaan desain *jig* dan *dies* (a) Desain *jig* dan *dies* yang digunakan peneliti Saputra (2016), (b) Desain ulang *jig* dan *dies* yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Melakukan proses pembuatan desain ulang *jig* dan *dies* DCP dari peneliti sebelumnya (Saputra (2016)) dengan sedikit modifikasi atau perubahan pada bagian *dies* yang menghilangkan bagian sisi pengunci ke dasar mesin uji tarik atau tekan dan pada bagian *jig* menghilangkan pengunci bagian atas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16. Desain ulang *jig* dan *dies* dibuat menggunakan *Autodesk Inventor Professional 2015*.
2. Melakukan proses pemesinan atau pembuatan *jig* dan *dies* yang sesuai dengan desain. Proses pemesinan *jig* dan *dies* diserahkan pada pihak BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta. Hasil akhir *jig* dan *dies* penekuk plat DCP dapat dilihat pada Gambar 3.1.

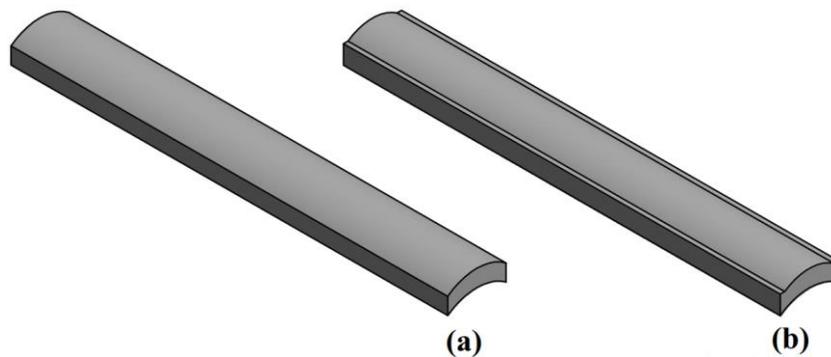
3.4.2. Tahap proses pembuatan spesimen DCP

Spesimen plat penyambung tulang (DCP) menggunakan *stainless steel* AISI 316L sebagai bahan dasar dengan ketebalan 4 mm. Desain dan dimensi spesimen DCP yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan kontur dan geometri tulang tangan bagian lengan atas dan bagian bawah manusia. Desain DCP pada penelitian ini merupakan desain ulang dari peneliti sebelumnya (Anggraini (2012) dalam Saputra (2016)) seperti terlihat pada Gambar 3.17. Langkah-langkah dalam pembuatan spesimen DCP SS AISI 316L sebagai berikut:



Gambar 3.17 Geometri *dynamic compression plate* (DCP)

1. Melakukan proses pemotongan plat SS AISI 316L sesuai desain yang ditetapkan seperti Gambar 3.6 (105 mm × 14 mm × 4 mm) menggunakan gerinda potong. Jumlah plat SS AISI 316L yang dipotong sebanyak 37 buah.
2. Melakukan proses pemesinan menggunakan mesin *frais* dengan *Endmill HSS 4 Flute* Ø12 mm untuk bagian pinggir atau tepi plat spesimen yang sudah dipotong. Tujuan proses pemesinan adalah untuk merapiakan bagian tepi bekas pemotongan agar memperoleh dimensi yang presisi dan ukuran plat yang akurat dengan desain yang telah dibuat. Selain itu, dengan dimensi yang presisi ketika dilakukan penekukan plat bisa dimasukkan pada *jig*.
3. Melakukan proses pemesinan dengan pembuatan *chamfer* pada tepi memanjang plat spesimen menggunakan mesin *frais* dengan *carbide chamfer mill* Ø12 mm. Tujuan pembuatan *chamfer* pada tepi memanjang plat spesimen adalah untuk menghilangkan bekas lekukan yang tidak diinginkan saat proses pembendingan pada plat spesimen. Bekas lekukan pembendingan atau penekukan plat harus dihilangkan dengan cara dilakukan *champer* terlebih dahulu sebelum dilakukan pembendingan atau penekukan plat. Perbedaan spesimen plat yang tidak *dichamfer* (tidak diinginkan) dengan plat yang sudah *dichamfer* terlihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Dimensi plat spesimen setelah proses pembendingan, (a) Sudah *dichamfer* (b) Tidak *dichamfer*.

4. Melakukan pengampelasan pada salah satu bagian permukaan plat spesimen menggunakan kertas ampelas dengan mesh nomor 300, 600, 800 dan 1000 secara bertahap. Pengampelasan pada permukaan spesimen ini bermaksud untuk memastikan setiap spesimen memiliki permukaan dengan *initial condition* yang serupa.
5. Melakukan proses pembendingan atau penekukan plat spesimen dengan *jig* dan *dies* menggunakan mesin tekan/tarik (UTM) sebagai penakan *dies* seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.
6. Memberikan kode berupa nomor urut pada setiap spesimen DCP yang sudah dilakukan pembendingan pada bagian bawah permukaan lengkung atau bagian dalam lengkungan secara urut sesuai urutan pembendingan.
7. Membuat lubang pada spesimen DCP menggunakan *machining center* CNC merk *FIRST* model MCV 300 dengan diameter pahat 5 mm setelah perlakuan *shot peening* selesai. Dimensi lubang spesimen DCP sesuai dengan dimensi pada Gambar 3.17.

3.4.3. Tahap proses pembendingan atau penekukan spesimen DCP

Proses pembentukan plat spesimen menjadi DCP dilakukan menggunakan alat penekuk plat spesimen *jig* dan *dies* (Gambar 3.1) yang di desain khusus dengan jari-jari lengkungan sesuai bentuk atau profil tulang lengan bagian atas dan tulang lengan bagian bawah manusia. Mesin uji tarik atau tekan (UTM) digunakan untuk memberi gaya tekan pada alat penekuk *jig* dan *dies*, gaya tersebut akan menekan *dies* ke bawah sehingga membuat spesimen mengalami penekanan dan terjadi

deformasi plastis atau perubahan bentuk spesimen mengikuti profil (DCP) pada *jig* dan *dies*. Proses pembendingan ini menimbulkan peregangan pada spesimen DCP selain itu dapat meningkatkan kekakuan spesimen DCP dengan menambah momen inersia spesimen (Wibowo *et al.*, 2014). Pembendingan spesimen menggunakan penekanan dari mesin uji tarik atau tekan (UTM) dilakukan di gedung G6 laboratorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Tahapan proses penekukan atau pembendingan spesimen DCP sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat penekuk *jig & dies* serta perlengkapan mesin tarik atau tekan (UTM).
2. Meletakkan alat penekuk *jig & dies* tepat di tengah *base stage* atau tegak lurus dengan arah gaya tekan mesin UTM agar distribusi penekanan merata pada alat penekuk *jig & dies*, seperti pada Gambar 3.2.
3. Mengatur metode pengujian di dalam komputer seperti dimensi sampel, mode *compression*, *test speed* 35 mm/min, *load limit* 500 kN, *extension limit* 50 mm (hasil detail data pembendingan terlampir).
4. Meletakkan spesimen kedalam alat penekuk *jig* dengan bagian permukaan yang sudah diampelas berada pada posisi bawah lalu tutup dengan *dies*.
5. Memulai proses pembendingan atau penekukan spesimen dengan menekan tombol *test* pada monitor komputer, tunggu sampai nilai *extension* atau perpanjangan konstan (2.5 mm), *test speed* tidak menunjukkan perubahan nilai (0 mm/min) dan pembebanan konstan (230 kN), tekan *stop* dan diikuti menekan *end* pada monitor komputer untuk mengakhiri proses pembendingan. Dalam penelitian ini data hasil pembendingan untuk pembeban (*load*) rata-rata adalah 23000 kgf (230 kN) dengan nilai rata-rata *yield point* dan *max load* adalah 230 kN serta waktu pembendingan rata-rata 20 detik.
6. Menyimpan data hasil pembendingan dikomputer (hasil detail data pembendingan terlampir).

3.4.4. Tahap proses pembuatan mesin *shot peening*

Mesin *shot peening* yang digunakan pada penelitian ini memiliki desain dan komponen yang sama dengan mesin *shot peening* yang dibuat dari peneliti sebelumnya ((Sunardi (2013), Saputra (2016) dan Sulaiman (2016)) tetapi memiliki beberapa perbedaan akibat perubahan spesimen yang digunakan seperti sistem kerjanya. Modifikasi atau perubahan sistem kerja mesin *shot peening* pada penelitian ini mengharuskan pembuatan baru mesin *shot peening*. Karena jika menggunakan mesin *shot peening* dari peneliti sebelumnya maka tidak sesuai dengan spesimen dan sistem kerja mesin *shot peening* yang digunakan pada penelitian ini.

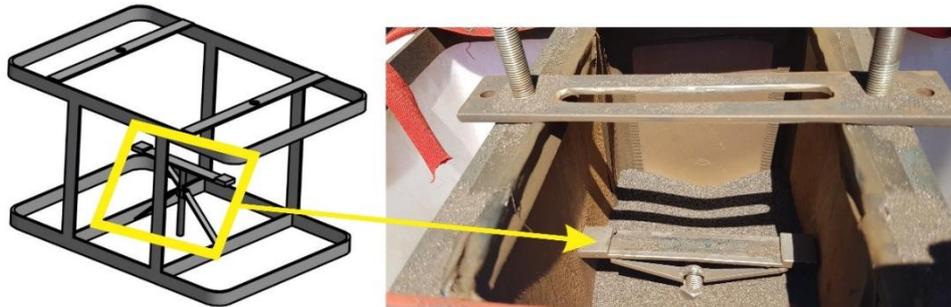
Mesin *shot peening* yang digunakan pada peneliti sebelumnya memiliki sistem kerja statis. Sistem kerja tersebut berarti spesimen yang mendapatkan perlakuan *shot peening* berdimensi kecil atau penembakan dari *spray gun* tidak bergerak terhadap spesimen (diam), seperti penelitian yang dilakukan oleh Mendrastama (2017) menggunakan dimensi spesimen 20×20×4 mm. Sedangkan pada penelitian ini spesimen yang digunakan adalah plat penyambung tulang (DCP) berdimensi 105×14×4 mm yang mengharuskan pergerakan penembakan dari *spray gun* bergerak merata mengenai seluruh bagian permukaan spesimen DCP. Karena variabel pada penelitian ini adalah variasi waktu perlakuan *shot peening* (8, 10 dan 12 menit) maka pergerakan *spray gun* akan diatur kecepatan pergerakannya menggunakan bacaan kecepatan seperti yang terlihat pada Gambar 3.20.

Pada penelitian ini peneliti membuat mesin *shot peening* baru dengan sistem kerja dan spesimen yang berbeda dari peneliti sebelumnya tetapi tetap menggunakan desain dan komponen yang sama dari peneliti sebelumnya. Berikut adalah beberapa perbedaan yang signifikan mesin *shot peening* dari peneliti sebelumnya dengan mesin *shot peening* baru pada penelitian ini:

1. Pemegang spesimen DCP (*specimen holder*)

Pada peneliti sebelumnya pemegang spesimen hanya untuk spesimen berdimensi kecil dan tidak bisa diatur ketinggiannya. Namun pada penelitian ini pemegang spesimen menjadi lebih panjang dan kuat dengan dimensi

menyesuaikan spesimen yang berbentuk DCP dan dapat diatur ketinggiannya, seperti yang terlihat pada Gambar 3. 19.



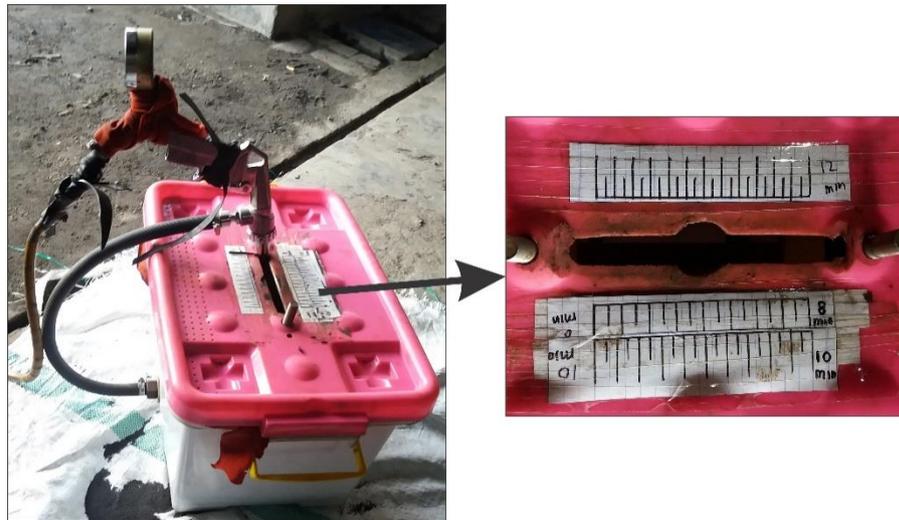
Gambar 3.19 Pemegang spesimen DCP mesin *shot peening* baru

Tabel 3.2 Kecepatan pergerakan *spray gun*

Waktu	mm/menit	mm/detik	detik/mm
8 menit	13.1	0.22	4.5
10 menit	10.5	0.8	5.7
12 menit	8.8	0.15	6.9

2. Posisi peletakan dan bacaan kecepatan pergerakan *spray gun*

Pada mesin *shot peening* peneliti terdahulu *spray gun* tidak bergerak dan ditempatkan pada satu lubang yang berada dibagian atas penutup (*spray gun* diam). Hal ini karena menyesuaikan spesimen yang digunakan dalam perlakuan *shot peening*. Berbeda dengan peneliti terdahulu, pada penelitian ini *spray gun* bergerak sepanjang permukaan spesimen DCP. Pembuatan alur dan bacaan kecepatan pergerakan *spray gun* telah disesuaikan panjangnya dengan spesimen, yaitu 105 mm agar proses penembakan material *abrasive (steel ball)* menumbuk seluruh permukaan spesimen DCP, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.20. Penambahan bacaan kecepatan pergerakan *spray gun* dalam jarak tempuh 105 mm dengan waktu proses 8, 10 dan 12 menit disajikan pada Tabel 3.2.



(a)

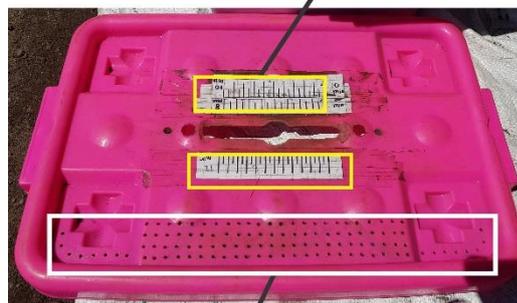
(b)

Gambar 3.20 Alur pergerakan *spray gun*, (a) Posisi peletakan *spray gun*, (b) Bacaan kecepatan pergerakan *spray gun* dalam jarak tempuh 105 mm dengan waktu 8, 10 dan 12 menit.

3. Tutup mesin *shot peening*

Selain kesamaan dengan adanya *air filter* untuk sirkulasi udara, penutup mesin *shot peening* pada penelitian ini diperkuat dengan penambahan plat besi menggunakan mur dan baut. Penguatan pada bagian tutup mesin ini berfungsi agar tutup plastik yang relatif tipis tidak terdorong kebawah karena menahan berat dan pergerakan dari *spray gun*.

Bacaan laju pergerakan *spray gun*
(8 menit/mm, 10 menit/mm dan 12 menit/mm)

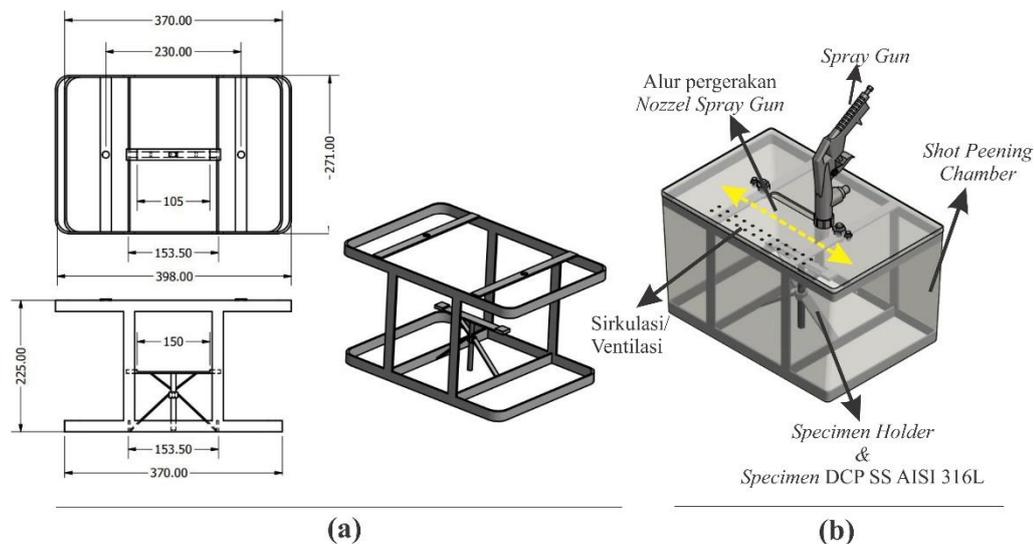


Air filter atau sirkulasi udara

Gambar 3.21 Tutup mesin *shot peening* baru

Komponen-komponen lain dari mesin *shot peening* baru yang digunakan pada penelitian ini masih sama dengan komponen-komponen mesin *shot peening* dari peneliti sebelumnya, seperti selang pendistribusi material *abrasive*, *pressure gauge*, *ball valve compressor* (keran) dan pipa konektor “Y”. Untuk tahap pembuatan mesin *shot peening* sebagai berikut:

1. Melakukan pembuatan desain ulang mesin *shot peening* dari desain mesin *shot peening* pada peneliti sebelumnya dengan menyesuaikan pergerakan *spray gun* dan spesimen yang digunakan pada penelitian ini. Pembuatan desain dimulai pembuatan rangka penguat bagian dalam *box shot peening* yang sesuai dengan dimensi *box shot peening* 470×320×270 mm. Membuat desain pemegang spesimen DCP dan desain alur pergerakan *spray gun*. Desain mesin *shot peening* dibuat menggunakan *Autodesk Invenor Professional 2015*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.22.
2. Melakukan proses fabrikasi atau pembuatan mesin *shot peening* sesuai dengan desain yang telah dibuat. Proses fabrikasi atau pembuatan mesin *shot peening* diserahkan pada pihak BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta.
3. Melakukan pengeboran atau pembuatan lubang kecil pada bagian sisi tepi penutup mesin *shot peening* dan hanya satu bagian sisi yang dibor. Pengeboran menggunakan bor tangan dengan mata bor berdiameter ± 1 mm. Kemudian untuk menjaga material *abrasive* tidak keluar lewat lubang yang dibuat dibagian penutup maka pada bagian dalam tepat pada lubang-lubang kecil ditutupi menggunakan kain tipis. Penambahan lubang-lubang berdiameter kecil bertujuan sebagai *air filter* atau sebagai sirkulasi udara pada saat perlakuan *shot peening*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.21 tutup mesin *shot peening* baru.



Gambar 3.22 Desain ulang mesin *shot peening*, (a) Rangka besi penguat bagian dalam mesin *shot peening*, (b) *Assembly box shot peening* dengan rangka penguat dan komponen lain.

3.4.5. Tahap proses perlakuan *shot peening*

Perlakuan *shot peening* merupakan perlakuan permukaan (*surface treatment*) yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik material dengan menghasilkan tegangan sisa tekan, pengerasan regangan dan deformasi plastis (Sunardi *et al.*, 2013). Pada umumnya proses perlakuan *shot peening* adalah proses menembakkan material *abrasive* (*steel ball*) secara *progressive* dengan tekanan udara yang tinggi pada permukaan material secara merata.

Proses *shot peening* dilakukan di bengkel PRM Vilkansir Ban, Jl. Ring Road Timur, Ngipik, Baturetno, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Gambar 3.23 menunjukkan proses perlakuan *shot peening*. Berikut adalah tahapan proses perlakuan *shot peening*:

1. Mempersiapkan perlengkapan sebelum proses *shot peening*, seperti obeng dan klem, alas mesin *shot peening*, *stopwatch* serta alat keselamatan kerja.
2. Mengatur *specimen holder* pada posisi sejajar dengan alur *spray gun* dan mengatur sudut *nozzle spray gun* tegak lurus (90°) terhadap spesimen. Mengatur ketinggian *specimen holder* dengan jarak 100 mm ke *nozzle spray gun* serta memastikan semua pengunci klem sudah dikencangkan, seperti klem pengunci antara selang dari kompresor dengan *spray gun* dan

pengunci antara konektor “Y” *spray gun* dengan *ball valve compressor* (keran).

3. Memasukkan atau mengisi *box shot peening* dengan material *abrasive (steel ball)* dengan diameter 0,6 mm.
4. Memasang spesimen DCP pada *specimen holder* dengan cara merekatkan spesimen DCP yang sebelumnya sudah diberikan *double tape foam*.
5. Menutup *box shot peening* dengan bantuan dua buah baut pengunci agar tertutup secara rapat dan kuat.
6. Membuka *trigger spray gun* secara maksimal dan mengatur *ball valve compressor* (keran) pada tekanan yang konstan yaitu 6 bar.
7. Menghidupkan kompresor dan menunggu hingga tekanan pada *pressure gauge* di atas tangki menunjukkan lebih dari 10 bar. Saat proses *shot peening* pastikan sebelumnya bahwa kompresor tidak digunakan untuk kerja lain seperti mengisi udara ban kendaraan. Jika kompresor digunakan secara bersamaan dengan kerja lain maka tekanan saat proses *shot peening* bisa berkurang secara drastis dan tekanan menjadi tidak konsisten pada 6 bar.
8. Mempersiapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu perlakuan *shot peening* sebelum proses *shot peening* dimulai. Variasi waktu perlakuan *shot peening* pada penelitian ini adalah 8, 10 dan 12 menit dengan setiap variasi waktu menggunakan 3 spesimen DCP.
9. Melakukan proses perlakuan *shot peening* pada 3 spesimen DCP pertama dengan variasi waktu 8 menit dengan tekanan penembakan dipertahankan pada 6 bar.
10. Menghidupkan *stopwatch* secara bersamaan ketika proses *shot peening* dimulai dan bertujuan untuk menghitung waktu serta menentukan laju pergerakan *spray gun* saat perlakuan *shot peening*.
11. Melanjutkan proses *shot peening* dengan pengulangan proses pada tahap 4 – 10 untuk 3 spesimen DCP dengan variasi waktu 10 menit dan 3 spesimen DCP dengan variasi waktu 12 menit.



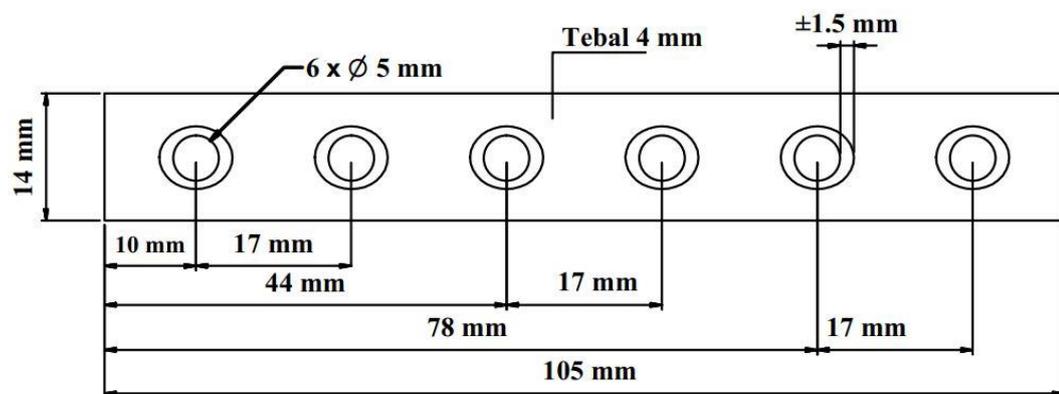
Gambar 3.23 Proses perlakuan *shot peening* di bengkel vulkanisir ban PRM

3.4.6. Tahap proses pembuatan lubang (*drilling*) pada spesimen DCP

Drilling atau pembuatan lubang pada spesimen DCP SS AISI 316L dilakukan setelah proses perlakuan *shot peening* selesai. Pembuatan lubang pada spesimen DCP menggunakan *machining center* CNC merk *FIRST* model MCV 300 (Gambar 3.8) dengan jumlah 6 lubang sejajar menggunakan diameter mata bor 5 mm dan lubang penanaman kepala sekrup atau lubang *vershing* berbentuk tirus menggunakan mata bor pembedam *counter sink* sampai diameter lubang terbentuk ± 8 mm (menyesuaikan ukuran diameter kepala sekrup). Jarak antara lubang adalah 17 mm dan jarak lubang dengan tepi masing-masing 10 mm seperti terlihat pada Gambar 3.17. Proses *drilling* spesimen DCP setelah perlakuan *shot peening* dilakukan di BPTTG Yogyakarta (Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna) tepatnya Jl. Kusumanegara No. 168 Yogyakarta. Berikut tahapan proses pembuatan lubang (*drilling*) pada spesimen DCP setelah perlakuan *shot peening* :

1. Mempersiapkan peralatan dan perlengkapan proses *drilling*, seperti mata bor, *coolant* dan *vernier caliper*. *Coolant* yang digunakan saat proses *drilling* adalah campuran air dengan cairan kimia *metal working fluid tubo cut* yang diproduksi oleh *J & S chemichal USA*.
2. Memasukkan program *G code* pada *machining center* CNC. Program CNC dibuat sesuai desain lubang spesimen DCP yang sebelumnya sudah disiapkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 lalu dirubah menjadi *G code*.

3. Meletakkan spesimen DCP yang telah si *shot peening* pada dudukan ragum dan mengatur kerataan spesimen menggunakan *dial indicator* serta untuk mengatur titik 0 atau titik ordinat (0,0).
4. Memulai pembuatan lubang sekrup dan lubang *versching* menggunakan *machining center* CNC.
5. Membersihkan spesimen setelah *drilling* menggunakan tisu secara perlahan untuk menghilangkan kotoran dan cairan *coolant* yang menempel pada spesimen DCP.



Gambar 3.24 *Redesign* dari peneliti Saputra (2016) untuk spesimen DCP

3.4.7. Tahap proses pengujian

Sebelum melakukan proses pengujian, semua permukaan spesimen DCP dibersihkan menggunakan alkohol dan tisu sebagai pembersih dari kotoran. Berikut tahapan proses pengujian:

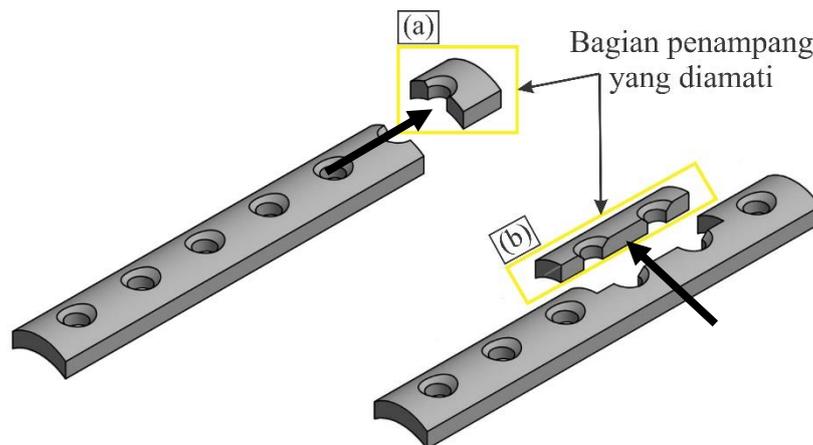
1. Pengamatan struktur makro pada permukaan dan lubang spesimen DCP

Pada pengamatan struktur makro ini bagian yang diuji atau diamati adalah permukaan spesimen DCP di antara dua lubang dan daerah lubang sekrup. Pengujian struktur makro pada penelitian ini menggunakan mikroskop stereo dan dilakukan di laboratorium gedung G6 teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Adapun tahap proses pengujiannya sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan perlengkapan pengujian makro, seperti kabel penghubung kamera mikroskop stereo ke komputer, komputer dan spesimen DCP.

- b. Meletakkan spesimen DCP pada *stage plate* di bawah lensa mikroskop.
 - c. Mengatur pembesaran pada mikroskop dan pada progam di monitor komputer atau menyamakan pengaturan pembesaran pada mikroskop dengan komputer.
 - d. Melakukan pemilihan bagian pada permukaan spesimen diantara dua lubang yang akan diambil foto makronya dengan pembesaran 20x.
 - e. Mengambil foto makro permukaan spesimen yang dipilih dan menyimpan berupa gambar ke komputer.
 - f. Melakukan pemilihan bagian lubang sekrup yang akan diambil foto makronya dengan pembesaran 12x.
 - g. Mengambil foto makro pada bagian lubang sekrup yang dipilih dan menyimpan berupa gambar ke komputer untuk selanjutnya dianalisis.
 - h. Pengambilan foto makro dilakukan pada 4 spesimen DCP dengan masing-masing variasi waktu 8, 10 dan 12 menit dan 1 spesimen DCP tanpa perlakuan (*raw material*).
2. Pengamatan struktur makro pada penampang melintang lubang sekrup bagian depan dan bagian samping
- Pada pengamatan struktur makro ini bagian yang diambil foto makro atau yang akan dianalisis adalah dua bagian, yaitu bagian depan dari penampang melintang lubang sekrup dan bagian samping penampang melintang antara dua lubang sekrup pada setiap variasi waktu perlakuan *shot peening*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.25. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan pengambilan foto makro :
- a. Memotong spesimen DCP tepat pada bagian tengah lubang pada setiap variasi waktu perlakuan *shot peening* 8, 10 dan 12 menit (Gambar 3.25 (a)).

- b. Memotong spesimen DCP pada bagian samping antara dua lubang sekrup pada setiap variasi waktu perlakuan *shot peening* 8, 10 dan 12 menit (Gambar 3.25 (b)).
- c. Mencetak 3 spesimen DCP (8, 10 dan 12 menit) yang telah dipotong tepat bagian tengah lubang menjadi satu menggunakan resin yang dicampur dengan katalis.
- d. Mencetak 3 spesimen DCP (8, 10 dan 12 menit) yang telah dipotong pada bagian samping antar dua lubang sekrup menjadi satu menggunakan resin yang dicampur dengan katalis.
- e. Menghaluskan 2 cetakan resin yang masing-masing berisi 3 spesimen dengan bagian tengah penampang melintang lubang dan 3 spesimen bagian samping penampang melintang antara dua lubang. Penghalusan 2 cetakan resin menggunakan ampelas dengan urutan nomor ampelas 300, 600 dan 1000. Tujuan pengampelasan untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus pada bagian yang ingin diamati.
- f. Mempersiapkan mikroskop optik *stereo* dan komputer untuk pengambilan foto makro.
- g. Mengatur pembesaran pada mikroskop dan pembesaran pada komputer.
- h. Melakukan pemilihan bagian tepat di tengah penampang melintang lubang sekrup atau pada bagian tengah hasil lubang *versing* dengan pembesaran 15x.
- i. Mengambil foto makro pada bagian tengah penampang melintang lubang sekrup yang dipilih dan menyimpan berupa gambar ke komputer.
- j. Melakukan pemilihan bagian penampang melintang antara dua lubang sekrup dengan pembesaran 25x.
- k. Mengambil foto makro pada bagian salah satu penampang melintang antara dua lubang yang dipilih dan menyimpan berupa gambar ke komputer untuk selanjutnya dianalisis.



Gambar 3.25 Ilustrasi bagian penampang melintang yang diambil foto makronya, (a) Bagian depan penampang melintang lubang, (b) Bagian samping penampang melintang antara dua lubang

3. Pengamatan struktur mikro

Bagian spesimen DCP yang diuji struktur mikronya adalah bagian penampang melintang tepat di tengah antara dua lubang sekrup spesimen DCP, seperti yang terlihat pada Gambar 3.26. Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini menggunakan mikroskop optik yang dilakukan di laboratorium D3 teknik mesin Universitas Gadjah Mada. Adapun tahap proses pengujiannya sebagai berikut :

- a. Mencetak 4 spesimen DCP dengan variasi perlakuan *shot peening* (*RM* ; 8 menit ; 10 menit ; 12 menit) secara bersama menggunakan resin dan katalis. Tujuan pencetakan secara bersama menjadi satu sampel adalah untuk memudahkan dan meringkas untuk proses selanjutnya. Resin dan katalis pada spesimen yang sudah kering kemudian dilakukan pemotongan.
- b. Memotong pada penampang melintang pada bagian tengah antara dua lubang sekrup spesimen DCP menggunakan *hack saw*.
- c. Membersihkan dan menghaluskan sisa resin pada bagian penampang melintang spesimen DCP dengan menggunakan ampelas. Pengampelasan dilakukan secara urut sesuai nomor ampelas dari ampelas yang kasar sampai ampelas yang halus (600, 1000, 1500 dan 2000).

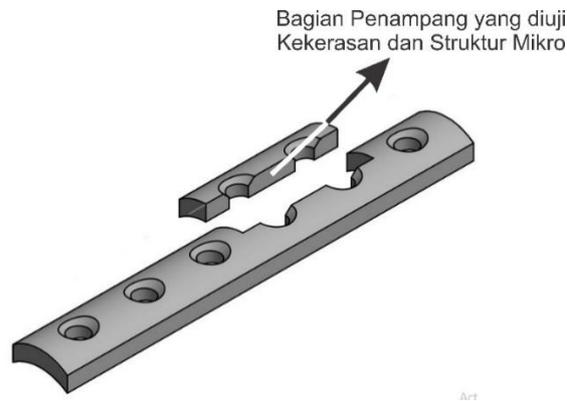
- d. Memoles bagian penampang melintang spesimen DCP yang sudah diampelas menggunakan *autosol* sampai spesimen DCP bersinar seperti cermin. Tujuan pemolesan adalah untuk mendapatkan permukaan spesimen yang halus tanpa goresan. Selain itu, salah satu syarat sebelum *etching* atau pengetsaan adalah permukaan harus bersih dari kotoran dan cacat termasuk goresan.
- e. Melakukan esta atau *etching* pada bagian penampang melintang yang sudah dipoles menggunakan campuran larutan *Hydrochloric Acid* (HCl) dan *Nitric Acid* (HNO₃) atau biasa yang disebut *aqua regia* atau air raja. Perbandingan campuran kedua larutan HCl dan HNO₃ adalah 1:3. Esta atau *etching* merupakan pengikisan batas butir yang terkontrol dengan tujuan untuk memperjelas dan mempertajam struktur yang akan diamati.
- f. Memilih area *image* struktur mikro pada bagian atau area yang akan dilihat struktur mikronya dengan mengarahkan lensa mikroskop ke area tersebut dengan skala perbesaran 100×.
- g. Menyimpan hasil *image* struktur mikro dari 4 spesimen DCP (*raw material* : 8 menit : 10 menit : 12 menit) kekomputer untuk selanjutnya dianalisis.

3. Pengujian kekerasan mikro

Pada pengujian kekerasan bagian spesimen DCP yang diuji sama dengan bagian pada pengamatan struktur mikro yaitu bagian penampang melintang tepat di tengah antara dua lubang spesimen DCP. Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *Vickers* yang dilakukan di laboratorium D3 teknik mesin Universitas Gadjah Mada. Adapun tahap proses pengujiannya sebagai berikut:

- a. Mencetak 4 spesimen DCP (*RM* ; 8 menit ; 10 menit ; 12 menit) secara bersama menggunakan resin dan katalis dengan tujuan untuk memudahkan dan meringkas untuk proses selanjutnya. Resin dan katalis pada spesimen yang sudah kering kemudian dilakukan pemotongan.

- b. Memotong pada penampang melintang pada bagian tengah antara dua lubang sekrup spesimen DCP menggunakan *hack saw*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.26.
- c. Membersihkan dan menghaluskan sisa resin pada bagian penampang melintang spesimen DCP dengan menggunakan ampelas. Pengampelasan dilakukan secara urut sesuai nomor ampelas dari ampelas yang kasar sampai ampelas yang halus (600, 1000, 1500 dan 2000).
- d. Memoles bagian penampang melintang spesimen DCP yang sudah diampelas menggunakan *autosol* sampai spesimen DCP bersinar seperti cermin. Tujuan pemolesan adalah untuk mendapatkan permukaan spesimen yang halus tanpa goresan sehingga bekas injakan (*indentation*) dari indenter *vickers* bisa terlihat jelas saat diamati di mikroskop.
- e. Menguji kekerasan spesimen DCP pada bagian penampang melintang dengan jumlah titik pembebanan sebanyak 5 titik dengan jarak titik dari permukaan DCP adalah 25, 50, 100, 150 dan 200 μm .
- f. Meletakkan bagian penampang melintang spesimen DCP pada *stage plate* dengan posisi tegak lurus dengan mata indenter *Vickers*. Kemudian indenter akan turun secara perlahan dan menekan spesimen selama 5 detik dengan beban 25 gf (0.245 N). Bekas injakan indenter (*indentation*) menghasilkan bentuk diagonal. Diagonal horizontal dan diagonal vertical yang terbentuk dirata-rata menjadi diagonal rata-rata kemudian dihitung dengan beban yang digunakan.
- g. Setelah mendapatkan hasil pengujian kekerasan *Vickers* dari 4 spesimen DCP (*raw material* : 8 menit : 10 menit : 12 menit), langkah selanjutnya menganalisis data kekerasan.



Gambar 3.26 Ilustrasi bagian penampang melintang yang dipotong untuk diuji kekerasan dan struktur mikro.

4. Pengujian kekasaran permukaan

Pada penelitian ini permukaan spesimen DCP merupakan bagian yang diuji kekasarannya. Pengujian kekasaran dilakukan dengan pengukuran pada 3 bagian tengah permukaan spesimen DCP (sisi kanan spesimen, bagian tengah spesimen dan sisi kiri spesimen) menggunakan alat uji TR-200 dengan jangkauan pergerakan *stylus* 2.5 mm. Pengujian kekasaran dilakukan di laboratorium gedung G6 teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Berikut tahapan proses pengujiannya sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan perlengkapan alat uji kekasaran TR-200, seperti menyiapkan plastisin sebagai *base* atau tempat spesimen saat pengujian dan pemasangan *stylus* ke alat uji.
- b. Meletakkan permukaan spesimen DCP yang diuji kekasarannya di bawah jarum (*stylus*) alat uji kekasaran.
- c. Menguji tingkat kekasaran permukaan dengan pengukuran pada 3 bagian tengah permukaan spesimen DCP (sisi kanan spesimen, bagian tengah spesimen dan sisi kiri spesimen)
- d. Mendapatkan data hasil uji kekasaran dan mencatat data yang diperoleh.
- e. Mengulangi proses b – d untuk setiap spesimen DCP dengan variasi *RM*, 8, 10 dan 12 menit.

- f. Mendapatkan hasil uji kekasaran permukaan spesimen DCP dan siap untuk dianalisis.

Nilai kekasaran yang dianalisis pada penelitian ini adalah nilai kekasaran rata-rata R_a atau nilai rata-rata aritmatika penyimpangan ketinggian kekasaran permukaan di atas garis rata-rata sepanjang spesimen.

5. Pengujian *wettability*

- a. Mempersiapkan perlengkapan pengujian *wettability*, seperti suntikan (*sprit*), air, alkohol, tisu dan kamera.
- b. Membersihkan permukaan spesimen DCP menggunakan alkohol dan tisu sebagai pembersih kotoran.
- c. Meneteskan air ke permukaan spesimen DCP. Penetasan air dilakukan sebanyak 3 kali pada bagian atau titik yang berbeda pada permukaan spesimen (tepi kanan spesimen, tengah spesimen dan tepi kiri spesimen).
- d. Mengambil foto tetesan air di atas permukaan spesimen DCP dari posisi samping spesimen.
- e. Mengeringkan spesimen DCP setelah pengambilan foto dengan tisu.
- f. Mengulangi proses b - e untuk setiap spesimen DCP dengan variasi RM , 8, 10 dan 12 menit.
- g. Mengolah hasil foto menggunakan *software coerldraw* dengan mengedit atau memberikan garis singgung berupa sudut kontak pada permukaan spesimen dengan lapisan bagian luar tetesan air. Sudut kontak yang terbentuk antara tetesan air dengan permukaan spesimen selanjutnya dianalisis untuk mengetahui tingkat *wettability* spesimen.

6. Pengukuran geometri spesimen DCP

- a. Mempersiapkan perlengkapan pengukuran ketebalan, diameter lubang dan sumbu panjang dan pendek (*elips*) spesimen, seperti *vernier caliper*, spesimen DCP dan buku catatan.

- b. Melakukan pengukuran ketebalan pada ujung atau tepi spesimen DCP sebanyak 3 kali pada setiap spesimen DCP. Tiga kali pengukuran dilakukan pada titik yang berbeda (bagian sisi kiri, bagian tengah dan bagian sisi kanan).
- c. Mencatat hasil pengukuran ketebalan spesimen DCP.
- d. Melakukan pengukuran diameter lubang spesimen DCP. Pengukuran diameter lubang dilakukan pada 6 lubang spesimen DCP.
- e. Mencatat hasil pengukuran diameter lubang spesimen DCP.
- f. Melakukan pengukuran sumbu panjang dan pendek *elips* spesimen DCP. Pengukuran sumbu panjang dan pendek *elips* dilakukan pada 6 lubang berbentuk *elips* spesimen DCP.
- g. Mencatat hasil pengukuran sumbu panjang dan pendek *elips* spesimen DCP.
- h. Mengulangi proses b – h untuk setiap spesimen DCP dengan variasi *RM*, 8, 10 dan 12 menit.

3.4.8. Proses pengolahan data

- a. Pengujian kekerasan mikro, kekasaran permukaan dan geometri memberikan hasil berupa data. Data hasil pengujian tersebut diolah secara otomatis menggunakan *software Microsoft office excel* untuk mempermudah analisis data hasil uji dalam bentuk lembar kerja elektronik (*spreadsheet*).
- b. Hasil pengujian *wettability* yang berupa foto diolah menggunakan *software coreldraw* untuk mengetahui besarnya sudut kontak yang terbentuk antara tetesan air dengan permukaan spesimen DCP.
- c. Pengamatan struktur makro dan mikro memberikan hasil berupa foto yang dapat diolah dan dianalisis menggunakan metode kualitatif dan metode kuantitatif.

3.5. Diagram Alir Penelitian

