



**ANALISIS PROSES *SANDBLASTING* DENGAN VARIASI JARAK,
SUDUT DAN WAKTU TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
DENGAN METODE *RESPON SURFACE***

SKRIPSI

Oleh

Arif Bigwanto

NIM 131910101085

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**ANALISIS PROSES *SANDBLASTING* DENGAN VARIASI JARAK,
SUDUT DAN WAKTU TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
DENGAN METODE *RESPON SURFACE***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Arif Bigwanto

NIM 131910101085

PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Akhirnya dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih dan penyayang, karya ini dipersembahkan sebagai wujud terima kasih bakti kepada:

1. Kedua orang tua, Ayahanda Wagino dan Ibunda Khoiriyah serta adikku Nadia Dwi Rahmawati yang selalu memberikan dorongan moral, materil maupun spiritual serta atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada taraserta doa yang selalu menyertai dalam menyelesaikan gelar S1.
2. Semua guru dari taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi. Tiada ilmu dan pengalaman yang saya dapatkan tanpa perantara Bapak-Ibu, terima kasih banyak untuk semuanya.
3. Dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritik bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Rekan kerja *Sandblasting Group* Fido Sila Widana dan Sugiantoro, terimakasih atas bantuan, ilmu dan bimbingan serta dukungannya selama proses penelitian skripsi ini.
5. Keluarga Mahasiswa Teknik Mesin 2013 yang selalu membantu, menyemangati dan memberikan motivasi yang begitu berarti, berbagi pengalaman suka cita, juga teman-teman di *Sandblasting Group* terima kasih untuk semua dukukungannya.

MOTTO

Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada kemudahan. Karena itu bila kau telah selesai (mengerjakan yang lain) dan kepada Tuhan, berharaplah keridhoannya.

(Q.S Al-Insyirah :6-8)

Seseorang harus sabar dan tenang tanpa tergesa-gesa dalam memikirkan sesuatu, tetapi harus cepat dalam melaksanakannya.

(Tatag Kristiyantoro)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arif Bigwanto

NIM : 131910101085

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Proses *Sandblasting* Dengan Variasi Jarak, Sudut Dan Waktu Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Metode *Respon Surface*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik apabila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 04 September 2018

Yang menyatakan,

Arif Bigwanto

NIM 131910101085

SKRIPSI

**ANALISIS PROSES *SANDBLASTING* DENGAN VARIASI JARAK,
SUDUT DAN WAKTU TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
DENGAN METODE *RESPON SURFACE***

Oleh

Arif Bigwanto

NIM 131910101085

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Proses *Sandblasting* Dengan Variasi Jarak, Sudut Dan Waktu Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Metode *Respon Surface*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 04 September 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 19600812 199802 1 001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 19700228 199702 1 001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 19681207 199512 1 002

Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.
NIP. 19691201 199602 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

ANALISIS PROSES SANDBLASTING DENGAN VARIASI JARAK, SUDUT DAN WAKTU TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DENGAN METODE *RESPON SURFACE*

Arif Bigwanto, 131910101085; 2018; 53 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Proses *sandblasting* merupakan proses penyemprotan bahan abrasif berupa pasir atau partikel kecil dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan material. Bahan abrasif yang biasa digunakan dalam proses *sandblasting* yaitu pasir silika. Pemilihan bahan abrasif dapat menghasilkan kemampuan yang berbeda-beda dikarenakan faktor kinerja seperti kekerasan abrasif, bentuk abrasif, warna abrasif, ukuran abrasif dan kebersihan abrasif. Proses *sandblasting* umumnya digunakan untuk membersihkan permukaan material yang akan di lapisi cat (*coating*). Aplikasi *coating* yang sebelumnya dibersihkan dengan cara *sandblasting* akan memiliki umur yang lebih tinggi dan meningkatkan umur pakai struktur secara signifikan.

Proses *sandblasting* diawali dengan pemotongan pelat baja SS400 dimensi 100 mm x 100 mm x 5mm dan pengecekan tingkat karat sesuai BS EN ISO 8501-1 Vis 1. Langkah selanjutnya yaitu menghaluskan pelat dengan cara mengampelas bagian permukaan pelat. Persiapan alat seperti selang, *nozzle*, *stopwatch*, kompresor, *sandpot*, dan alat bantu proses percobaan lain sangat diperlukan untuk kelancaran proses *sandblasting*. Jarak dan sudut pada alat bantu diatur sesuai dengan level yang telah ditentukan begitupun dengan *inlet valve*, *choke valve* dan *mixing valve* juga diatur sesuai dengan posisi yang telah ditentukan. Pasir silika dimasukkan ke dalam *sandpot* hingga volume 80 % kemudian diatur jarak, sudut dan waktu sesuai dengan level percobaan. Pasir silika bertekanan 4 bar disemprotkan pada permukaan material pelat baja SS400 dengan jarak 350 mm, sudut penyemprotan 30° dan waktu penyemprotan 8 detik. Langkah tersebut diulang untuk jarak 400 mm, sudut 30° waktu 8 detik dan seterusnya sesuai

dengan tabel *Box Behnken*. Hasil proses *sandblasting* dicek kekasaran permukaannya dengan *surface roughness tester*. Langkah selanjutnya mengolah data menggunakan bantuan *software* minitab 17.

Hasil model persamaan menggunakan *Response Surface* didapatkan persamaan yaitu $Y_k = 74,477 + 1,578 J + 3,630 S + 3,252 W + 0,420 J^2 - 6,340 S^2 + 0,452 W^2 + 2,157 (J S) + 0,239 (J W) + 1,402 (S W)$. Nilai persamaan tersebut lalu diuji menggunakan uji *lack of fit*, uji parameter serentak, uji individual untuk menentukan pengaruh masing-masing nilai residu. Dari tabel *Box Behnken* didapatkan hasil kekasaran permukaan terendah yaitu 64,22 μm pada jarak 350 mm, sudut 30° dan waktu 8 detik. Data yang dihasilkan diolah lagi untuk menentukan hasil kekasaran permukaan yang optimal menggunakan *Response Optimizer* sehingga didapatkan optimasi sebesar 62,7114 μm dengan nilai *desirability* sebesar 1,00 pada jarak 448,98 mm, sudut 30° dan waktu penembakan selama 4 detik.

SUMMARY

ANALYSIS OF SANDBLASTING PROCESS WITH VARIATION OF DISTANCE, ANGLE AND TIME TO SURFACE ROUGHNESS WITH RESPONSE SURFACE METHOD

Arif Bigwanto, 131910101085; 2018; 53 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Sandblasting process is the process of spraying abrasive material in the form of sand or small particles with high pressure on a material surface. The abrasive material commonly used in the sandblasting process is silica sand. The choice of abrasive materials can produce different capabilities due to performance factors such as abrasive hardness, abrasive shape, abrasive color, abrasive size and abrasive cleanliness. The sandblasting process is generally used to clean the surface of the material to be coated with paint. Coating applications that were previously cleaned by sandblasting will have a higher life and significantly increase the service life of the structure.

The sandblasting process begins with cutting SS400 steel plate dimensions of 100 mm x 100 mm x 5 mm and checking the rust level according to BS EN ISO 8501-1 Vis 1. The next step is to smooth the plates by sanding the surface of the plate. Preparation of tools such as hoses, nozzle, stopwatch, compressor, sandpot, and other experimental process aids is very necessary to smooth the sandblasting process. The distance and angle of the tool are adjusted according to the predetermined level as well as the inlet valve, choke valve and mixing valve are also set according to the predetermined position. Silica sand is put into the sandpot up to 80% volume then the distance, angle and time are adjusted according to the experiment level. 4 bar pressurized silica sand is sprayed on the material surface of SS400 steel plate with a distance of 350 mm, spraying angle of 30 ° and spraying time of 8 seconds. The step is repeated for a distance of 400 mm, a 30 ° angle of 8 seconds and so on according to the Box Behnken table. The results of the sandblasting process were checked for surface roughness with a

surface roughness tester. The next step is to process the data using the help of software Minitab 17.

The results of the equation model using Response Surface obtained the equation that is $Y_k = 74,477 + 1,578 J + 3,630 S + 3,252 W + 0,420 J^2 - 6,340 S^2 + 0,452 W^2 + 2,157 (J S) + 0,239 (J W) + 1,402 (S W)$. The value of the equation is then tested using the lack of fit test, simultaneous parameter test, individual test to determine the effect of each residual value. From the Box Behnken table, the lowest surface roughness is $64.22 \mu\text{m}$ at a distance of 350 mm, an angle of 30° and a time of 8 seconds. The resulting data was processed again to determine the optimal surface roughness results using the Response Optimizer to obtain an optimization of $62.7114 \mu\text{m}$ with a desirability value of 1.00 at a distance of 448.98 mm, angle 30° and shooting time for 4 seconds.

PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Proses Sandblasting Dengan Variasi Jarak, Sudut Dan Waktu Terhadap Kekasaran Permukaan Dengan Metode Respon Surface*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak henti dalam hidup ini.
2. Kedua orang tua, Ayahanda Wagino dan Ibunda Khoiriyah serta adikku Nadia Dwi Rahmawati yang selalu memberikan dorongan moral, materil maupun spiritual serta atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada taraserta doa yang selalu menyertai dalam menyelesaikan gelar S1.
3. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, S.T., selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritik bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
6. Semua dulur Teknik Mesin 2013, terimakasih atas motivasi, dukungan, kekompakan serta kebersamaannya selama ini.
7. Teman seperjuangan Rey Shinta R.M., terimakasih atas dukungan dan bantuannya sampai skripsi ini selesai;

8. Rekan kerja riset *Sandblasting* Fido Sila Widana dan Sugiantoro, terimakasih atas waktu dan kebersamaan dalam pengerjaan skripsi ini juga bantuan yang selalu diberikaan pada saat proses penelitian
9. Teman yang selalu memberi dukungan, *Sandblasting Group*, terimakasih atas perhatian dan kepeduliannya
10. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 04 September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKARTA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB.1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesa.....	3
BAB.2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Sandblasting</i>	5
2.2 Jenis-Jenis <i>Sandblasting</i>	7
2.2.1 <i>Dry Sandblasting</i>	7
2.2.2 <i>Wet Sandblasting</i>	7
2.3 Komponen <i>Sandblasting</i>	8
2.4 <i>Material Abrasive</i>	9
2.5 <i>Material Baja SS400</i>	11

2.6 Kekasaran Permukaan	11
2.7 Desain Eksperimen	15
2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen	15
2.7.2 Metode Response Surface.....	17
2.7.3 Pemeriksaan Asumsi Klasik	20
2.7.4 Pengujian Kesesuaian Model.....	22
BAB.3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitan	25
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.2.1 Alat	24
3.2.2 Bahan	28
3.3 Pelaksanaan Percobaan	29
3.4 Pengambilan Data	30
3.5 Tahap Penarikan kesimpulan	32
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Data Hasil Percobaan	34
4.2 Analisis Data Kekasaran Permukaan	35
4.2.1 Pengujian Residual	35
4.2.2 Pembentukan Model	38
4.2.3 Pengujian Kesesuaian Model.....	40
4.2.4 Analisis Contour dan Surface Plot.....	43
4.3 Optimasi Respon	46
4.4 Pembahasan Analisis Kekasaran Permukaan.....	48
4.5 Perbandingan Hasil Perusahaan dengan Hasil <i>Setting</i> Penelitian	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil Proses <i>Sandblasting</i>	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Proses Penyemprotan	6
Gambar 2.3 <i>Dry Sandblasting</i>	7
Gambar 2.4 <i>Wet Sandblasting</i>	8
Gambar 2.5 Kompresor <i>Sandblasting</i>	8
Gambar 2.6 <i>Sandpot</i>	9
Gambar 2.7 <i>Nozzle Sandblasting</i>	9
Gambar 2.8 Profil Kekasaran Permukaan	12
Gambar 3.1 Desain Alat Bantu <i>Sandblasting</i>	24
Gambar 3.2 TR220 <i>Portable Roughness Tester</i>	26
Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Pelat SS400	28
Gambar 3.4 Pasir Silika Beserta Kemasannya	28
Gambar 3.5 Area Pengambilan Data Nilai Kekasaran	29
Gambar 3.6 Representasi <i>Box-Behnken Design</i>	30
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 <i>Probability plot</i> untuk kekasaran	36
Gambar 4.2 Plot <i>residual versus fits value</i> dari kekasaran permukaan.....	37
Gambar 4.3 Grafik <i>Autocorrelation Function</i>	38
Gambar 4.4 <i>contour plot</i> sudut dan waktu thdp kekasaran pada jarak 400mm... 44	
Gambar 4.5 <i>contour plot</i> waktu dan jarak terhadap kekasaran pada sudut 60°..... 45	
Gambar 4.6 <i>contour plot</i> sudut dan jarak terhadap kekasaran pada waktu 8 dtk..... 46	
Gambar 4.7 Grafik kombinasi variabel-variabel yang menghasilkan nilai kekasaran optimum dengan menggunakan <i>software</i> minitab..... 47	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Typical Profiles of Various Abrasive</i>	10
Tabel 2.2 Komposisi Kimia SS400.....	11
Tabel 2.3 Tabel CCD (Central Composite Design)	17
Tabel 2.4 Rancangan Percobaan <i>Box-Behnken Design</i>	17
Tabel 2.5 Formulasi Anova	23
Tabel 3.1 Spesifikasi Kompresor	25
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Sandpot</i>	25
Tabel 3.3 Spesifikasi TR220 <i>Portable Roughness Tester</i>	27
Tabel 3.4 Rancangan <i>Box-Behnken Design</i>	31
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan.....	33
Tabel 4.2 Koefisien Regresi Penduga Untuk Kekasaran	39
Tabel 4.3 <i>Analysis Of Variance</i> kekasaran	40
Tabel 4.4 Perbandingan <i>Setting</i> Perusahaan dengan <i>setting</i> penelitian	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses *sandblasting* adalah suatu proses pembersihan permukaan dengan cara menembakkan partikel (pasir) ke suatu permukaan material sehingga menimbulkan gesekan/tumbukan dengan tujuan untuk menghilangkan material-material yang terkontamiasi seperti karat, cat, garam, oli dan lain-lain. Selain itu juga bertujuan untuk membentuk profil kekasaran pada permukaan metal sehingga cat dapat lebih melekat. Kemudahan yang diberikan dari poses ini adalah kecepatan pengerjaan dan fleksibilitas dalam mengikuti bentuk benda kerja yang berlekuk dan rumit dari proses pembentukan benda kerja.

Hal-hal yang menentukan hasil *sandblasting* antara lain adalah keahlian operator, tekanan udara untuk penyemprotan, ukuran pasir yang digunakan, waktu penyemprotan, dan jarak penyemprotan (Setyarini, 2011). Tingkat kekasaran dan laju pengikisan permukaan benda kerja yang akan dilakukan pelapisan adalah sangat penting, mengingat tingkat kekasaran akan sangat berpengaruh terhadap daya lekat bahan pelapis terhadap logam yang akan dilapisi (As'ad, 2008).

Pasir silica dan steel grit merupakan sebagian dari jenis abrasive yg digunakan untuk blasting. Steel grit umumnya digunakan di fabrication shop untuk bisa digunakan kembali (daur ulang) karena harganya cukup mahal. Kedalaman profil kekasaran tergantung dari jenis cat atau coating yang akan diaplikasikan. Untuk mendapatkan profil kekasaran tertentu, selain dari ukuran pasir, juga dapat dipengaruhi dari ukuran nozzel dan besar *pressure* dari blasting prosesnya (JPCL eBook, 2012).

PT. Bromo Steel Indonesia merupakan perusahaan penyedia jasa di bidang kontruksi, salah satu jasa yang ditawarkan yaitu *sandblasting* dan *coating*. Proses pengerjaan *sandblasting* yang dilakukan di perusahaan ini tergantung dari permintaan konsumen. Dari survei yang telah dilakukan pada PT. Bromo Steel Indonesia bahwasanya proses pengerjaan sandblasting yang dilakukan menghasilkan kekasaran permukaan diatas standar.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pradana (2016) di PT. Swadaya Graha dengan variasi tekanan 4 bar, 5 bar, 6 bar dan waktu proses 10 detik, 15 detik, 20 detik menghasilkan kekasaran permukaan maksimal sebesar 76 μm pada variasi tekanan 6 bar dan waktu 20 detik. Untuk kekasaran minimal yang dihasilkan yaitu sebesar 45.5 μm pada tekanan 4 bar dan waktu 10 detik. Widiyarta dkk (2015) melakukan penelitian tentang sandblasting dengan variasi tekanan dan sudut penyemprotan. Hasil penelitiannya menunjukkan perubahan sudut nosel terhadap permukaan spesimen dari 30⁰ sampai 60⁰ mengakibatkan kekasaran permukaan meningkat dari 1.532 μm menjadi 2.176 μm . Rosidah (2015) melakukan penelitian tentang sandblasting dengan variasi tekanan, jarak dan sudut penyemprotan dengan kekasaran optimum yang dituju adalah kekasaran minimum pada range 50 μm -100 μm didapatkan dengan menggunakan software Lingo 11® pada variasi jarak 38,6 cm; tekanan 6 bar dan sudut 45° dengan nilai kekasaran 63,34 μm .

Penelitian kali ini bertujuan mendapatkan *setting* parameter yang tepat untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal. Parameter yang akan divariasikan pada penelitian ini yaitu jarak, sudut dan waktu penyemprotan. Dari beberapa sumber referensi diatas yang telah dipaparkan bahwa variasi jarak, sudut dan waktu memiliki pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan pada proses *sandblasting*. Adapun *setting* parameter yang digunakan operator di PT. Bromo Steel Indonesia yaitu tekanan penyemprotan 4 bar, jarak penyemprotan 400 mm, dan lama penyemprotan 5 menit dalam 1m².

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi jarak, sudut dan waktu terhadap kekasaran permukaan pelat SS400 pada hasil *sandblasting*.
2. Bagaimana penggunaan metode *response surface* dalam mengoptimalkan *sandblasting* terhadap kekasaran permukaan.

1.3 Batasan Masalah

1. Tekanan penyemprotan yang digunakan 4 bar.
2. Diameter nozel yang digunakan 15 mm.
3. Analisis pada tugas akhir ini hanya dikhususkan pada kekasaran permukaan.
4. Uji kekasaran permukaan berdasarkan standart ASTM D7127 menggunakan alat ukur *Portable roughness Tester TR220*.
5. Metode yang digunakan adalah metode *Respon Surface*.
6. Analisa yang dilakukan menggunakan *software Minitab 17*
7. Tidak membahas tentang perubahan struktur spesimen, perpindahan panas dan perpindahan gaya setelah proses pembersihan.
8. Operator dianggap terampil dalam pengerjaan pembersihan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh jarak, sudut dan waktu terhadap kekasaran permukaan pelat SS400 pada hasil *sandblasting*.
2. Untuk mengetahui bagaimana penggunaan metode *response surface* dalam mengoptimalkan *sandblasting* terhadap kekasaran permukaan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi pada perusahaan tentang pengaruh jarak, sudut dan waktu terhadap kekasaran pelat SS400 pada hasil *sandblasting*.
2. Dapat menerapkan penggunaan metode *response surface* dalam mengoptimalkan *sandblasting* terhadap kekasaran permukaan.

1.6 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin dekat jarak penyemprotan maka nilai kekasaran yang dihasilkan semakin besar. Untuk sudut penyemprotan antara nozzle terhadap spesimen mendapatkan hipotesa semakin besar sudut penyemprotan maka semakin besar nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan.

Dan dengan semakin lamanya waktu penyemprotan juga dapat meningkatkan nilai kekasaran permukaan.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Sandblasting*

Proses *sandblasting* adalah proses penyemprotan *abrasive* material biasanya berupa pasir silika atau *steel grit* dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan. Proses ini umumnya digunakan untuk membersihkan permukaan baja yang akan *dicoating*. Aplikasi *coating* yang sebelumnya dibersihkan dengan *sandblasting* akan memiliki umur yang lebih tinggi dan meningkatkan umur pakai struktur secara signifikan (Sulistyo dan Setyarini, 2011).

Pembersihan dengan *abrasive*, pada prinsipnya menggunakan peristiwa *impact*, partikel pasir yang berkecepatan tinggi menabrak permukaan baja. Akibatnya, kontaminan yang ada dipermukaan seperti karat, kotoran, debu, dan bekas *coating* bisa dibersihkan dari permukaan. Disamping membersihkan permukaan, proses *sandblasting* juga bertujuan untuk membuat kekasaran permukaan atau menciptakan profil. Sehingga daya rekat antara material *coating* dan benda kerja maksimal (Rosidah dkk, 2015).

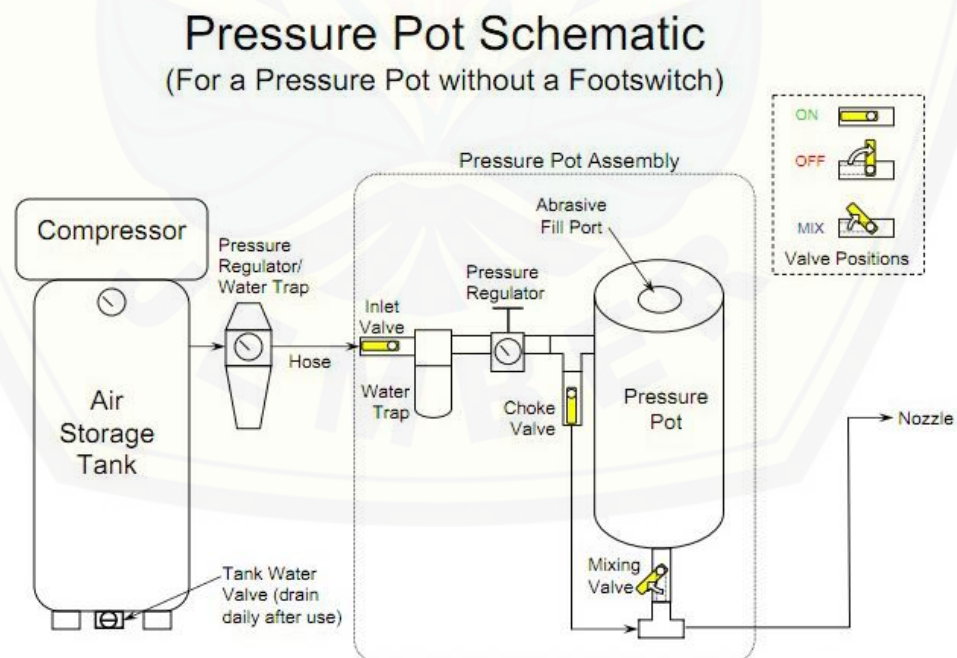
Proses *sandblasting* merupakan salah satu cara yang paling efisien dibandingkan pengamplasan secara konvensional. Proses ini memiliki keunggulan yaitu lebih cepat dalam pengerjaannya, flexibel dalam mengikuti bentuk benda kerja yang berlekuk rumit dan lebih mudah untuk membentuk profil hasil kekasaran. Pembersihan dengan menggunakan *sandblasting* harus dilaksanakan dengan tepat ukuran sehingga efeknya tepat guna, sebab jika dilaksanakan secara berlebihan maka bukannya membersihkan permukaan, justru memperparah keadaan karena material menjadi rusak. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi produktivitas *sandblasting* terhadap material logam yaitu, ukuran butiran pasir, tekanan penyemprotan, sudut penyemprotan, waktu penyemprotan dan jarak penyemprotan. Hasil material sebelum dan sesudah dilakukan *sandblasting* bisa dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hasil proses *sandblasting* (a) sebelum dan (b) sesudah

(Sumber : www.thebe.co.bwconstructionconstruction-services-sand-blasting-rust)

Prinsip kerja dari proses penyemprotan ini adalah pembangkitan udara bertekanan oleh suatu kompresor yang kemudian dilewatkan melalui dua pipa. Pipa pertama menuju tabung pasir sedangkan pipa kedua dilewatkan langsung menuju *nozzle*. Akhirnya dari ujung *nozzle* dihasilkan udara bertekanan dan pasir yang akan mengikis kotoran yang melekat pada benda kerja (Sulistyo, 2011). Prinsip kerja proses penyemprotan dapat dilihat pada gambar 2.2.



This Diagram shows the “starting position” for all valves when setting up a pressure pot.
Inlet valve = Full Open, Choke Valve = Full Open, Mixing Valve = Closed halfway

Gambar 2.2 Prinsip kerja proses penyemprotan

2.2 Jenis – Jenis *Sandblasting*

2.2.1 *Dry Sandblasting*

Dry Sandblasting adalah proses penyemprotan dengan menggunakan media abrasif kering. Proses ini merupakan proses yang paling umum digunakan oleh perusahaan penyedia jasa *sandblasting*. Pembersihan dengan metode ini dilakukan dengan cara menembakkan partikel padat seperti pasir silika, *steel grit*, *steel shot*, *coal slag* dan *garnet* ke suatu permukaan material dengan tekanan tinggi sehingga akan menimbulkan debu yang berterbangan saat pembalstingan. Selain itu rentan menimbulkan percikan api karena gesekan tekanan udara tinggi dengan material yang di *sandblasting*. Maka dari itu proses ini memerlukan tempat khusus agar tidak menimbulkan polusi yang dapat mengganggu aktifitas disekitarnya.



Gambar 2.3 *Dry Sandblasting*

(Sumber : TEKNOS, 2012)

2.2.2 *Wet sandblasting*

Wet sandblasting adalah proses yang sama dengan *dry sandblasting*, bedanya ditambahkan campuran air khusus yang sudah ditambahkan bahan anti karat ke dalam pasir. Hal tersebut ditujukan agar tidak menimbulkan percikan api dan debu yang dapat mengganggu proses produksi. Keunggulan *wet sandblasting* ialah bisa diaplikasikan pada area khusus yang sangat sensitif terhadap percikan api dan debu. Dapat juga diaplikasikan di ruang produksi yang tidak memungkinkan adanya penghentian proses produksi sesaat. Kekurangannya ialah

memerlukan biaya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan proses *dry sandblasting*. Selain itu penghilangan karat dan pengotor tidak secepat proses *dry sandblasting*.



Gambar 2.4 *Wet Sandblasting*

(Sumber : <https://www.indotrading.com/services/jasa-wet-blasting-s4064.aspx>)

2.3 **Komponen Sandblasting**

Adapun komponen yang terdapat pada proses sandblasting akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Kompresor



Gambar 2.5 Kompresor *Sandblasting*

2. *Sandpot*



Gambar 2.6 *Sandpot*

3. *Nozzle*



Gambar 2.7 *Nozzle Sandblasting*

2.4 **Material Abrasive**

Material *abrasive* adalah bahan yang digunakan untuk membersihkan dan membentuk profil kekasaran permukaan. Bahan ini disemprotkan dengan tekanan yang tinggi menggunakan suatu peralatan yang dikenal dengan nama *sandpot* dan kegiatan penyemprotan abrasif ke permukaan pelat disebut *blasting*. Suatu abrasif dalam melakukan blasting ke material pelat baja menghasilkan kemampuan yang berbeda-beda karena hal ini dipengaruhi oleh faktor kinerja dari abrasif itu sendiri seperti kekerasan abrasif (*hardness*), bentuk abrasif (*shape*), warna abrasif, ukuran abrasif (mesh) dan kebersihan abrasif. Namun semua faktor kinerja yang

dihasilkan oleh abrasif akan relevan apabila sesuai dengan spesifikasi pengecatan yang dilakukan (Susetyo.P, 2010).

Ukuran partikel *abrasive* yang besar akan masuk lebih dalam, tetapi akan membersihkan permukaan lebih sedikit dan apabila dipakai ukuran *abrasive* yang halus saja, tidak akan mendapatkan tingkat kekasaran yang dikehendaki. Pemilihan ukuran *abrasive* ditentukan oleh kondisi atau keadaan dari profil permukaan material. Abrasive yang keras akan masuk lebih dalam dan lebih cepat daripada yang menggunakan bahan lunak. Bahan abrasive harusnya lebih keras daripada bahan yang akan *diblasting*. Menurut bahannya *abrasive particle* (partikel-partikel *abrasive*) dapat dikelompokkan yaitu :

- a. *Metallic*, misal : *copper slag, cast steel, steel shot, steel grit*
- b. *Synthetic*, misal : *aluminium oxide*
- c. *Silicons (sand)*, misal : *quartz, silica*

Bentuk partikel *abrasive* akan mempengaruhi kekasaran permukaan. Jenis *shot* berbentuk bulat atau lonjong, dan akan menghasilkan kekasaran yang tumpul. Jenis ini efisien hanya untuk menghilangkan kerak besi dan karat yang tebal. Jenis *grit* berbentuk tajam dan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang tajam. Bentuk permukaan seperti ini yang sering dibutuhkan jenis cat. Pasir dan *slag* memberikan kekasaran permukaan antara hasil *grit* dan *shot* (Dewandas, 2007) dalam (Jamil, 2012).

JPCL (*Journal of Protective Coatings & Linings*) telah menetapkan kekasaran permukaan yang akan dicapai beserta jenis dan ukuran *abrasive* yang digunakan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Typical Profiles of Various Abrasive*

Abrasive	R _{max} (mills)	P _c (Peaks/inch)
G-40 steel grit	2.0 – 4.5	120 – 180
G-25 steel grit	3.0- 5.5	90 – 120
G-18 steel grit	4.0 – 7+	50 – 220
20/40 flint silica sand	1.0 – 3.5	130 – 220
20/40 boiler slag	0.8 – 3.0	100 - 180
1.0 mill = 25 μm		100 peaks/inch = 40 peaks/cm

(Sumber : JPCL eBook)

2.5 Material Baja SS400

Material baja SS400 merupakan salah satu baja (*main steel*) yang paling umum digunakan untuk pembuatan konstruksi kereta api. Salah satunya adalah *sliding door rail* pada pintu kereta api. Keunggulan material ini adalah memiliki keuletan yang baik dan kekuatan yang sedang. Material SS400 memiliki kandungan karbon kurang dari 0.3 % sehingga termasuk dalam jenis baja karbon rendah.

Tabel 2.2 Komposisi kimia baja SS400

<i>Chemical Composition</i>	
Carbon	0.20 %
Manganse	0.53 %
Silicon	0.09 %
Sulfur	0.04 %
Phosporous	0.01 %
Chromium	0.03 %
Nickel	0.03 %
Iron	<i>Balance</i>

(Sumber : Yusim dan Triwikantoro)

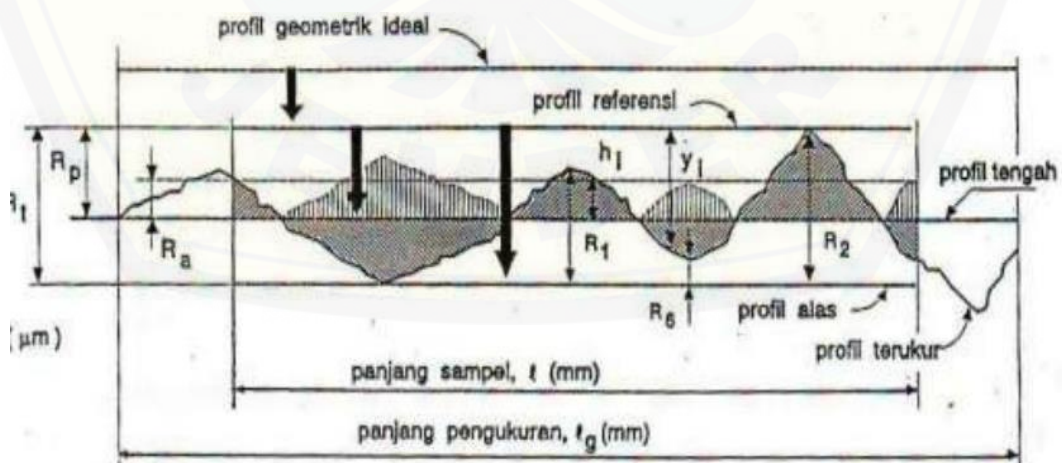
2.6 Kekasaran Permukaan

Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin atau peralatan. Banyak hal yang di mana

karakteristik permukaan perlu dinyatakan dengan jelas misalnya dalam kaitannya dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan kelelahan, perekatan dua atau lebih komponen-komponen mesin, dan sebagainya.

Setiap proses pengerjaan mempunyai ciri tertentu atau khas atas permukaan benda kerja yang dihasilkannya. Oleh karena itu, dalam memilih proses pengerjaan aspek permukaan ini perlu dipertimbangkan. Pada dasarnya konfigurasi suatu permukaan sangatlah kompleks. Karena terjadinya berbagai penyimpangan selama proses pembuatan maka permukaan geometrik ideal (*ideal geometric surface*), yaitu permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna tidaklah dapat dibuat.

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, maka sensor/ peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length, l_g*). Sesaat setelah jarum jam bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran dimana dilakukan analisis profil permukaan disebut dengan panjang sampel (*sampling length, l*). Reproduksi profil sesungguhnya adalah seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8 (Rochim, 2007).



Gambar 2.8 Profil kekasaran permukaan

Pada gambar 2.8 terdapat beberapa istilah yang berhubungan yaitu :

R_t : Kekasaran total (*peak to valley height / total height*) adalah pengukuran yang diambil dari jarak antara profil referensi dengan profil alas.

R_p : Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness / peak to mean line*) adalah pengukuran dari jarak rata-rata antara profil referensi ke profil terukur.

$$R_p = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} y_i dx \quad (2-1)$$

R_a : Kekasaran aritmatik (*mean roughness index / center line average*) adalah harga rata-rata aritmatik yang nilai pengukuran *absolutenya* berdasarkan jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} [h_i] dx \quad (2-2)$$

R_q : Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*) adalah hasil dari pengukuran akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} h_i^2 dx} \quad (2-3)$$

R_z : Kekasaran total rata-rata adalah hasil pengukuran dari jarak rata-rata profil alas ke profil terukur di lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil terukur di lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur di lima lembah terendah.

$$R_z = \sum [R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10}] / 5 \quad (2-4)$$

Untuk memeriksa kekasaran permukaan yang tepat diperlukan ketrampilan dari tenaga ahli, disamping peralatan yang memadai. Menurut ASTM D4417 untuk mengukur kekasaran permukaan dapat dipakai alat pembanding kekasaran permukaan seperti *Surface Profile Comparator*, *Surface Profile Depth Gage*, dan *Replica Tape*.

Ketentuan persiapan permukaan material dapat mengacu pada standar yang sudah ada, misalnya NACE *International*, SSPC, ISO, *British Standards Institute* (BSI), ASTM, dan *Swedish Standard* SS 05.59.00-1988. Standar acuan karat yang digunakan yaitu : *Standard International* ISO 8501-1 "*Visual Assessment of Surface Cleanliness*". Ada empat tingkat karat yang diberikan oleh *standard* ini, antara lain :

1. *Rust Grade A* : Permukaan besi tertutupi *mill scale* dan sedikit karat.
2. *Rust Grade B* : Permukaan besi sudah mulai berkarat dan beberapa bagian *mill scale* sudah mulai mengelupas.
3. *Rust Grade C* : *mill scale* sudah berkarat dan terdapat beberapa bagian sedikit titik-titik karat pada permukaan dasar dari besi.
4. *Rust Grade D* : *mill scale* sudah berkarat dan terdapat karat diatas permukaan dasar besi yang dapat dilihat dengan penglihatan normal.

ISO 8501-1 hanya digunakan pada besi baru yang belum pernah dilakukan perlakuan *coating* dan *painting*. Namun, pada besi yang sudah pernah dilakukan *coating* sebelumnya dan lapisan *coating* tersebut sudah rusak, biasanya akan termasuk dan *Rust Grade C* atau D. Untuk tingkat kebersihan permukaan dengan menggunakan ISO 8501-1 dibedakan menjadi :

1. *Brush Off Cleaning* / SA 1 (SSPC SP-7)

SA 1 ini merupakan tingkat kebersihan permukaan material paling jelek, yang mana karat-karat pada material masih tetap ada. Untuk proses aplikasi (*painting*), standar SA 1 tidak diperbolehkan melakukan aplikasi.

2. *Commercial Cleaning*/ SA 2 (SSPC SP-6)

SA 2 ini merupakan tingkat kebersihan permukaan material yang sedikit lebih baik dari SA 1, tetapi tingkat ini masih tidak diperbolehkan proses aplikasi, karena masih ada sedikit sisa-sisa karat.

3. *Near White Metal Cleaning/ SA 2,5 (SSPC SP-10)*

SA 2,5 ini merupakan tingkat kebersihan permukaan material yang sudah diperbolehkan untuk proses aplikasi. Hasil kebersihan SA 2,5 ini berwarna mendekati putih.

4. *White Metal Cleaning/ SA 3 (SSPC SP-5)*

SA 3 ini merupakan tingkat kebersihan yang paling baik. Untuk mendapatkan SA 3 ini biasanya harganya sangat mahal, karena terlalu sulit untuk mencapainya.

Untuk daerah atau bagian yang sulit dijangkau pada proses *sandblasting*, dapat digunakan peralatan lain yang sesuai. Disamping itu lama penembakan jatuh butiran dan jarak antara *nozzle* dengan permukaan material dapat mempengaruhi hasil permukaan material. Lama penembakan *nozzle* terhadap garis tegak permukaan material, sekitar $45^\circ - 90^\circ$. Untuk lama penembakan *nozzle* dibawah 90° dilakukan untuk mendapatkan area kerja yang lebih luas, hal ini dilakukan seperti pada proses penyekrapan, dan untuk *nozzle* yang mendekati tegak lurus dilakukan untuk mendapatkan kekasaran permukaan dari material (Dewandas, 2007) dalam (Jamil, 2012).

2.7 Desain Eksperimen

Desain eksperimen merupakan sebuah rancangan percobaan yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang diperlukan dapat dicapai sehingga membawa pada analisis objektif dan kesimpulan yang berlaku untuk suatu masalah yang sedang dibahas. Tujuan dari desain eksperimen adalah untuk mendapatkan dan mengumpulkan informasi yang diperlukan sebanyak-banyaknya dan berguna dalam melakukan penelitian (Sudjana, 1994).

2.7.1 Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Untuk memahami seberapa jauh suatu proses yang optimum dipengaruhi oleh sejumlah variabel, sering diperlukan data-data percobaan dalam jumlah besar dan membutuhkan waktu lama, yang secara otomatis juga akan memerlukan biaya dalam jumlah yang besar. Beberapa teknik statistika dan matematika sering

dipakai untuk melakukan pendekatan guna memperoleh pemahaman terhadap kondisi optimum dari suatu proses, tanpa memerlukan data yang terlampaui banyak. Diantara metode yang sering dipakai adalah metode permukaan respon. Metode permukaan respon (*response surface methodology*) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon (Nuryanti, 2008)

Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal. (Nuryanti, 2008)

Prinsip dasar dalam melakukan desain eksperimen ada 3, yaitu :

1. Replikasi

Prinsip pertama adalah replikasi atau perlakuan yang sama pada unit yang berbeda. Fungsi dari replikasi adalah untuk mengetahui kesalahan pengukuran variabilitas alami. Dengan melakukan replikasi, berkemungkinan memperoleh nilai taksiran pengaruh yang lebih tepat. Replikasi memiliki 2 properti penting, yaitu (Sulistiyanto, 2016):

Pertama, penyimpangan taksiran, merupakan unit pengukuran dasar untuk menentukan waktu terjadi perbedaan pengamatan dalam data secara statistik yang berbeda secara nyata. Kedua rata-rata sampel yang digunakan untuk menaksir pengaruh suatu faktor dalam eksperimen.

2. Randomisasi

Dalam eksperimen harus memberikan perlakuan acak pada unit-unit. Karena metode statistik mengharuskan bahwa pengamatan atau eror adalah variabel independen, random, dan berdistribusi tertentu.

3. Kontrol Lokal

Maksudnya sembaran metode yang dapat menjelaskan dan mengurangi variabilitas alami. prinsip ini melakukan pengelompokan satuan unit eksperimen yang mirip ke dalam kelompok tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan ketepatan data eksperimen(Sulistiyanto, 2016).

2.7.2 Metode *Response Surface*

Metode *response surface* atau biasa disebut RSM (*response surface methodology*) adalah teknik matematika dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisis data dimana respon yang diteliti dipengaruhi oleh beberapa variabel yang tujuannya ialah untuk mengoptimalkan respon. Kebanyakan dalam metode RSM, eksperimen dilakukan dalam dua tahap, yaitu eksperimen orde 1 (model regresi linier berganda) yang merupakan tahap penjarangan faktor dan eksperimen orde II (model regresi kuadrat berganda) yaitu tahap optimasi. Dalam penggunaan metode RSM terdapat dua desain yang dapat digunakan, yaitu (Montgomery, 1997):

1. *Central Composite Design*

Merupakan desain yang direkomendasikan untuk eksperimen sekuensial atau perencanaan desain yang dilakukan secara berulang. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama , jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih banyak dibanding dengan *box-behken design*.

Tabel 2.3 Tabel CCD (*Central Composite Design*) (Faulina, 2011)

	Jumlah Variabel, K				
	2	3	4	5	6
n_f (untuk 2 atau 2^k)	4	8	16	32	64
Banyaknya titik aksial = 2k	4	6	8	10	12
$\alpha = (nf)1/4$	1.414	1.628	2.000	2.378	2.828
Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
Total	8+ Nc	14+ Nc	24+Nc	42+ Nc	76+ Nc

2. *Box-Behnken Design*

Merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen yang tidak sekuensial yang hanya merencanakan untuk satu kali eksperimen. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih sedikit dibandingkan dengan *Central Composite design*.

Tabel 2.4 Rancangan Percobaan *Box-Behnken Design* dengan $k = 3$ (Kristiyantoro, 2009)

No	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Tahap pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari fungsi antara variabel respon dan variabel bebas yang tepat. Untuk mengetahui hubungan tersebut biasanya di buat model regresi. Untuk memilih model yang paling sesuai biasanya diperiksa apakah model antar variabel adalah model linier (model orde satu) atau model polinomial.

Secara umum bentuk persamaan regresi orde pertama dinyatakan sebagai berikut (Sulistiyanto, 2016):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e \quad (2-5)$$

Dimana :

Y : Variabel Respon

b_0 : Koefisien konstan

b_1 : Koefisien parameter model

X_1 : Nilai variabel bebas

b_k : Koefisien parameter

X_k : Variabel bebas

e : Residual dengan asumsi IIDN(0, σ^2)

Pendugaan untuk orde pertama adalah :

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i \quad (2-6)$$

Dimana :

Y : Nilai pendugaan

b_0 : Konstanta

b_i : Koefisien Parameter

X_i : Variabel bebas

Selanjutnya pada keadaan mendekati respon, model order dua atau lebih biasanya disyaratkan untuk mengaproksimasi respon karena adanya lengkungan (*curvature*) dalam permukaannya untuk persamaan model orde kedua ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j=2}^k b_{ij} X_i X_j + e \quad (2-7)$$

Pendugaan untuk model orde kedua jika menggunakan $k = 3$ dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad (2-8)$$

Dimana: Y : nilai pendugaan/respon

X_i : variabel bebas, $i = 1,2,3,\dots,k$

b_0 : konstanta

b_i : koefisien parameter model ; $i = 1,2,3,\dots,k$

b_{ij} : koefisien parameter model

e : residual dengan asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$

2.7.3 Pemeriksaan Asumsi Klasik

Analisis regresi linier berganda menggunakan teknik perhitungan *ordinary least square* untuk mendapatkan nilai duga koefisien parameter regresi. Nilai duga harus memenuhi beberapa asumsi agar dapat diterima atau sah. Dengan OLS, kesalahan nilai duga sangat kecil dan merupakan yang terbaik. Asumsi ini biasa disebut dengan asumsi klasik, yaitu: Normalitas, autokorelasi (independen), heteroskedastisitas, dan multikolinieritas. Pengujian asumsi klasik menggunakan data residual kecuali multikolinieritas, residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (Sulistiyanto, 2016).

Variabel prediktor disebut juga variabel independen (bebas), yang berarti variabel prediktor tidak memiliki hubungan atau korelasi terkait satu sama lain (*intercorrelation*). Dengan kata lain, variabel prediktor ini tidak memiliki sifat multikolinieritas. Koefisien regresi diasumsikan *error* (ε) bersifat identik dan independen (IID) dan berdistribusi normal (normalitas) dengan rata-rata nol dengan varian tertentu $(0, \sigma^2)$ atau tidak memiliki sifat heteroskedastisitas (varian konstan). Asumsi juga tidak memiliki ketergantungan diantara komponen *error* terhadap unsur waktu (*time series*). Untuk pemeriksaan asumsi apakah model terpenuhi atau tidak, dibawah ini terdapat pengertian beberapa uji untuk pemeriksaan asumsi klasik yaitu sebagai berikut (Sulistiyanto, 2016).

1) Uji Normalitas

Uji distribusi normal dilakukan untuk menguji apakah residual terdistribusi normal atau tidak dilakukan dengan menggunakan *normal probability plot* yang menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Secara visual dapat diketahui jika plot membentuk garis lurus dari kiri bawah ke kanan atas menunjukkan residual berdistribusi normal. Dapat juga dilakukan pengujian dengan metode formal, yaitu uji *Kolmogorov-smirnov normality test*, *Anderson-darling*, dan lainnya. Residual berdistribusi normal apabila $P_{value} > \alpha$. (Sulistiyanto, 2016).

2) Uji identik

Pengujian ini bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama atau tidak. Prasyarat yang harus terpenuhi dalam model regresi yaitu tidak ada kasus heteroskedastisitas yang berarti varian menyebar sama (identik) Hal ini dilakukan dengan memeriksa plot e_i terhadap \hat{Y}_i (secara visual). Deteksi secara visual dapat dilakukan versus fits dengan cara memplotkan nilai ZPRED (prediksi) dengan SRESID (residual), jika penyebaran datanya acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu maka asumsi identik terpenuhi.

3) Uji Independen

Uji independen digunakan untuk menjamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan asumsi ini dilakukan dengan menggunakan ACF (*Auto Corelation Function*).

Bila nilai korelasi berada dalam interval $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ maka residual bersifat independen.

4) Uji Multikolinieritas

Asumsi ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat diantara variabel-variabel prediktor dalam suatu model regresi linier berganda. Model regresi yang baik adalah antar variabel prediktor tidak memiliki korelasi. Untuk mendeteksi model regresi memiliki sifat multikolinieritas yaitu dengan menggunakan nilai VIF (*Variance Inflation Factor*). Jika nilai VIF > 5 berarti antar variabel prediktor terjadi multikolinieritas yang serius pada model regresi. (Sulistiyanto, 2016).

2.7.4 Pengujian Kesesuaian Model

a. Koefisien Korelasi (r)

Koefisien korelasi menunjukkan kedekatan hubungan antara nilai X (prediktor) dan nilai Y (respon). Semakin mendekati angka 1 atau -1 nilai koefisien korelasinya maka semakin besar pengaruh X terhadap Y . Koefisien korelasi dilambangkan dengan r dan nilainya terletak antara $-1 < r < 1$. Jika $r < 0$ atau negatif maka semakin nilai R mendekati angka -1 semakin besar pula korelasinya. Artinya semakin besar nilai X menyebabkan nilai Y -nya semakin kecil. Sebaliknya jika nilai $r \leq 1$ atau positif maka semakin nilai r mendekati angka 1 maka korelasinya semakin besar atau semakin besar X menyebabkan semakin besar pula nilai Y . Rumus koefisien korelasi adalah:

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2-9)$$

b. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien R-Sq (*R-square*, R^2), suatu nilai statistik yang menunjukkan koefisien determinasi, yaitu nilai yang menerangkan besarnya keragaman dalam peubah tak bebas (Y) yang dapat dijelaskan oleh peubah bebasnya (X). Dengan kata lain koefisien ini menunjukkan seberapa besar hubungan (*good of fit*) antara variabel prediktor secara serentak terhadap variabel respon (Supranto, 1996). Nilai ini umumnya dinyatakan dalam persen (%). Secara manual, R^2 tersebut dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = b_1 \frac{JHK_{XY}}{JK_Y} \times 100\% \quad (2-10)$$

Semakin besar nilai R^2 maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y . Model yang baik adalah model yang memiliki nilai R^2 yang tinggi mendekati 100% atau 1 (koefisien determinasi nilainya terletak antara $0 < R^2 < 1$) (Sulistiyanto, 2016).

R-Sq (adj)(*R-square adjusted*), yaitu merupakan nilai R^2 yang telah dikoreksi dengan derajat bebasnya. Nilai ini dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R_{adj}^2 = \left(1 - \frac{\frac{JKS}{n-p}}{\frac{JKT}{n-1}} \right) \times 100\% \quad (2-11)$$

c. Pengujian Adanya Penyimpangan (*Uji Lack of Fit*)

Dalam menentukan ketepatan model diperlukan uji *lack of fit*. Tujuan pengujian *lack of fit* adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Uji ini menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan nilai distribusi F atau distribusi P.

Tabel 2.5 Formulasi Anova

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat tengah (MS)	F_{hitung}
Regresi	$p - 1$	$\sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$\frac{SSR}{p - 1}$	$\frac{MSR}{MSE}$
Error	$n - p$	$\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\frac{SSE}{n - p}$	-
Lack of Fit	$\sum_{j=1}^J (n_j - 1)$	$\sum_{j=1}^J \sum_{u=1}^{n_j} (Y_{ju} - \bar{Y}_j)^2$	$\frac{SS_{LOF}}{(\sum_{j=1}^J (n_j - 1))}$	$\frac{MS_{LOF}}{MS_{Pure Error}}$
Pure Error	$n - p - \sum_{j=1}^J (n_j - 1)$	$SSE - SS_{LOF}$	$\frac{SSE - SS_{LOF}}{n - p - \sum_{j=1}^J (n_j - 1)}$	-
Total	$n - 1$	$\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$	-	-

Apabila $F_{rasio} > F_{(a;n-k-l-n_e;n_e)}$ atau $P_{value} > \alpha$ yang berarti ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model yang diduga dengan model sebenarnya (Sulistiyanto, 2016)

d. Pengujian Parameter Serentak

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah koefisien dari model secara serentak (simultan) nyata atau tidak. Uji simultan berfungsi untuk mengetahui apakah antara variabel-variabel bebas X dan terikat Y signifikan, atau setidaknya ada salah satu dari variabel prediktor yang berpengaruh signifikan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi secara serentak adalah sebagai berikut (Sulistiyanto, 2016):

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$$

Uji statistik yang digunakan (Sulistiyanto, 2016):

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_R/(N-1-k)} \quad (2-12)$$

Daerah penolakan yaitu tolak H_0 pada tingkat signifikansi α apabila $F_{hitung} > F_{(\alpha; k; n-1-k)}$ yang berarti secara statistik variabel-variabel bebasnya ketika bersama – sama memiliki pengaruh terhadap terjadinya perubahan pada variabel respon Y dalam model.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di PT. Bromo Steel Indonesia Pasuruan. Sedangkan pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember pada 7 februari – 15 maret 2018.

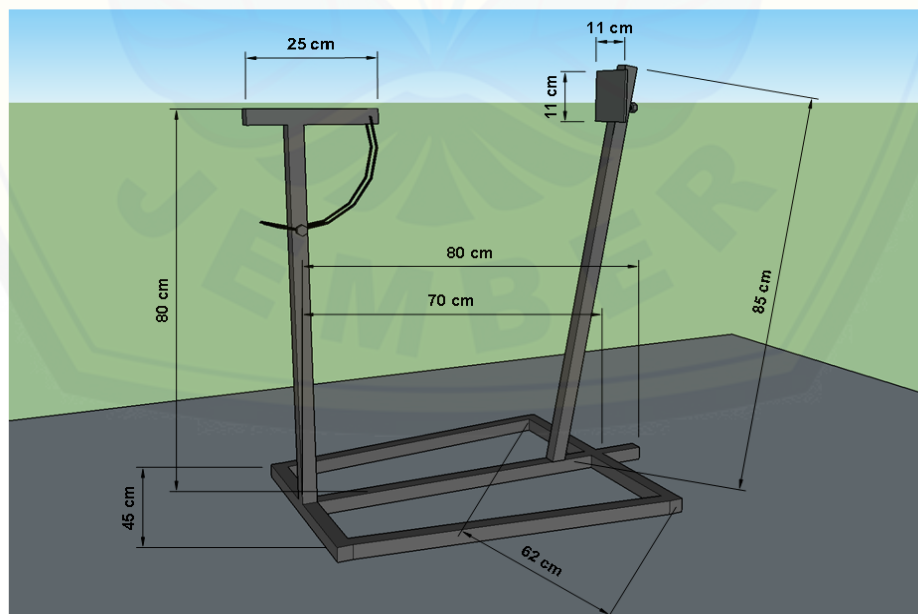
3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Alat Bantu *Sandblasting*

Alat bantu *sandblasting* ditujukan untuk mempertahankan sudut dengan variasi yang berbeda - beda pada setiap percobaannya. Penelitian ini menggunakan *sandblasting* manual dimana memiliki kemungkinan terjadi tingkat eror. Oleh karena itu pembuatan alat bantu ini bertujuan untuk memudahkan peneliti selama proses penelitian. Desain alat bantu menggunakan inventor yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Desain Alat Bantu *Sandblasting*

b. Kompresor

Untuk lebih detailnya tentang spesifikasi kompresor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Kompresor

Merek	Atlas Copco
Working Pressure	7.4 bar g / 107 psi g
FAD	8,3 m ³ / 294 cfm
Motor Power	45 kW / 60 hp
Noise Level	72 dB (A)
Overall Dimension :	
Length	970 mm
Width	1766 mm
Height	1800 mm
Weight	979 kg

(Sumber : Spesifikasi kompresor di PT. Bromo Steel Indonesia)

c. *Sandpot*

Untuk lebih detailnya tentang spesifikasi *sandpot* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Sandpot*

Merek	Applied 140
Kapasitas	140 liter
Dimensi	520 x 1250 mm
Lama Penembakan	45 menit
Ukuran Pipa	1 ¼"

(Sumber : Spesifikasi *sandpot* di PT. Bromo Steel Indonesia)

d. *Nozzle tipe conventional*

e. Alat uji kekasaran

Material yang telah *diblasting* akan diuji dengan TR220 *Portable Roughness Tester* seperti pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2TR220 *Portable Roughness Tester*

(Sumber : Alat uji kekasaran Laboratorium Desain dan Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember)

Surface Roughness Tester merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya. Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan stylus berbentuk diamond untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indicator pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan menggunakan transducer dan diolah dengan mikroprocessor. Roughness tester dapat digunakan di lantai di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di mana pun. Instrumen roughness tester ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO (International Organization for Standardization), DIN (Deutsches Institut Fur Normung), ANSI (American National Standards Institute), dan JIS (Japanese Industrial Standard) sehingga tidak diragukan lagi dalam ketepatan dan keakuratan dalam pengukuran kekasaran.

Tabel 3.3 Spesifikasi TR220 *Portable Roughness Tester*

Measurement Principle	Electromagnetic Inductance
Measurement Range	160 μm
Angle of Stylus	90 ⁰
Length wise Radius of Skid	45 mm
Material of Stylus Point	Diamond
Max Driver Distance	18 mm / 0,7 inch
On Measuring :	
If Cutoff Equal to 0,25 mm	Vt Equal 0,13 mm/s
If Cutoff Equal to 0,8 mm	Vt Equal 0,5 mm/s
If Cutoff Equal to 2,5 mm	Vt Equal 0,1 mm/s
On Returning	V = 1 mm/s

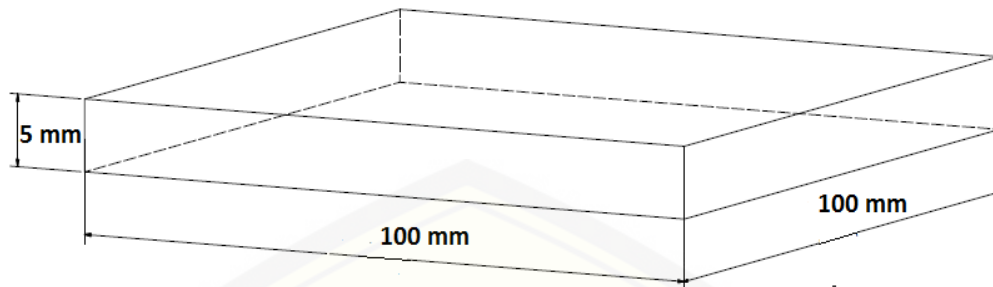
(Sumber : *Surface Roughness Tester Specifications* : Alat Uji)

- f. Mesin gerinda merk Bosch tipe GCO 200
- g. *Steel tape* (meteran)
- h. Spidol
- i. *Stopwatch*

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1. Pelat SS400 Dimensi 100 mm x 100 mm x 5 mm



Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Pelat SS400

2. Pasir Silika



Gambar 3.4 Pasir Silika Beserta Kemasannya
(Sumber :Pasir Silikadi PT. Bromo Steel Indonesia)

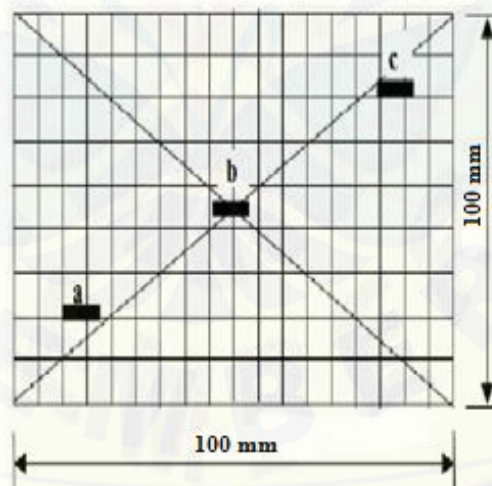
3.3 Pelaksanaan Percobaan

- Proses pembuatan spesimen dengan memotong pelat SS400 menggunakan gerinda menjadi dimensi 100 mm x 100 mm x 5 mm sebanyak 15 buah spesimen.
- Persiapan permukaan spesimen dengan cara dicek tingkat karatnya (*rust grade*) sesuai *standard* BS EN ISO 8501-1 Vis 1. Selanjutnya permukaan spesimen dihaluskan menggunakan amplas.
- Persiapan peralatan seperti selang, *nozzle*, *stopwatch*, kompresor, *sandpot*, dan alat bantu proses percobaan.
- Mengisi *sandpot* dengan pasir silika hingga volume 80%.
- Nyalakan kompresor.
- Memasang *nozzle* dan spesimen pada alat bantu.

- g. Mengatur tekanan pada *pressure regulator* dan sudut pada alat bantu sesuai dengan level yang telah ditentukan.
- h. Mengatur *inlet valve*, *choke valve* dan *mixing valve* sesuai dengan posisi yang telah ditentukan.
- i. Lakukan proses *sandblasting* sesuai dengan level waktu yang ditentukan.
- j. Membersihkan sisa pasir dengan udara bertekanan tinggi agar tidak mempengaruhi hasil pengujian.
- k. Siapkan alat uji kekasaran permukaan, dan catat hasilnya.

3.4 Pengambilan Data

Nilai kekasaran permukaan benda kerja yang telah dilakukan *sandblasting* diukur menggunakan TR220 *Portable Roughness Tester* sesuai dengan ASTM D7127 (*Standard Test Method for Measurement of Surface Roughness of Abrasive Blast Cleaned Metal Surfaces Using a Portable Stylus Instrument*). Pengambilan data nilai kekasaran permukaan dilakukan pada tiga area sisi benda kerja sebanyak 3 kali pengulangan.

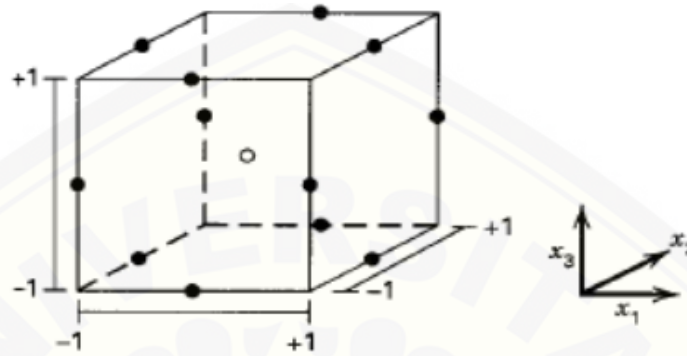


Gambar 3.5 Area Pengambilan Data Nilai Kekasaran

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*) dengan desain eksperimen *Box-Behnken*. Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data dan optimasi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan Pengambilan Data

Metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga mempersingkat waktu eksperimen. Rancangan *Box-Behnken Design* dapat dilihat pada Tabel 3.4.



Gambar 3.6 Representasi *Box-Behnken design* (Montgomery, 1997)

Tabel 3.4 Rancangan *Box-Behnken Design*

No	Jarak	Sudut	Waktu	Jarak (mm)	Sudut ($^{\circ}$)	Waktu (detik)
1	-1	-1	0	350	30	8
2	1	-1	0	450	30	8
3	-1	1	0	350	90	8
4	1	1	0	450	90	8
5	-1	0	-1	350	60	4
6	1	0	-1	450	60	4
7	-1	0	1	350	60	12
8	1	0	1	450	60	12
9	0	-1	-1	400	30	4
10	0	1	-1	400	90	4
11	0	-1	1	400	30	12
12	0	1	1	400	90	12
13	0	0	0	400	60	8
14	0	0	0	400	60	8
15	0	0	0	400	60	8

2. Pembentukan Model

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel proses dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

Jika $k = 3$ penduga untuk model orde kedua menjadi (Setyawan, dalam Ihsan, 2015):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien, langkah pertama yang dilakukan adalah mengolah data eksperimen menggunakan *software* komputer sehingga didapatkan nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien tersebut dimasukkan kedalam persamaan tersebut di atas.

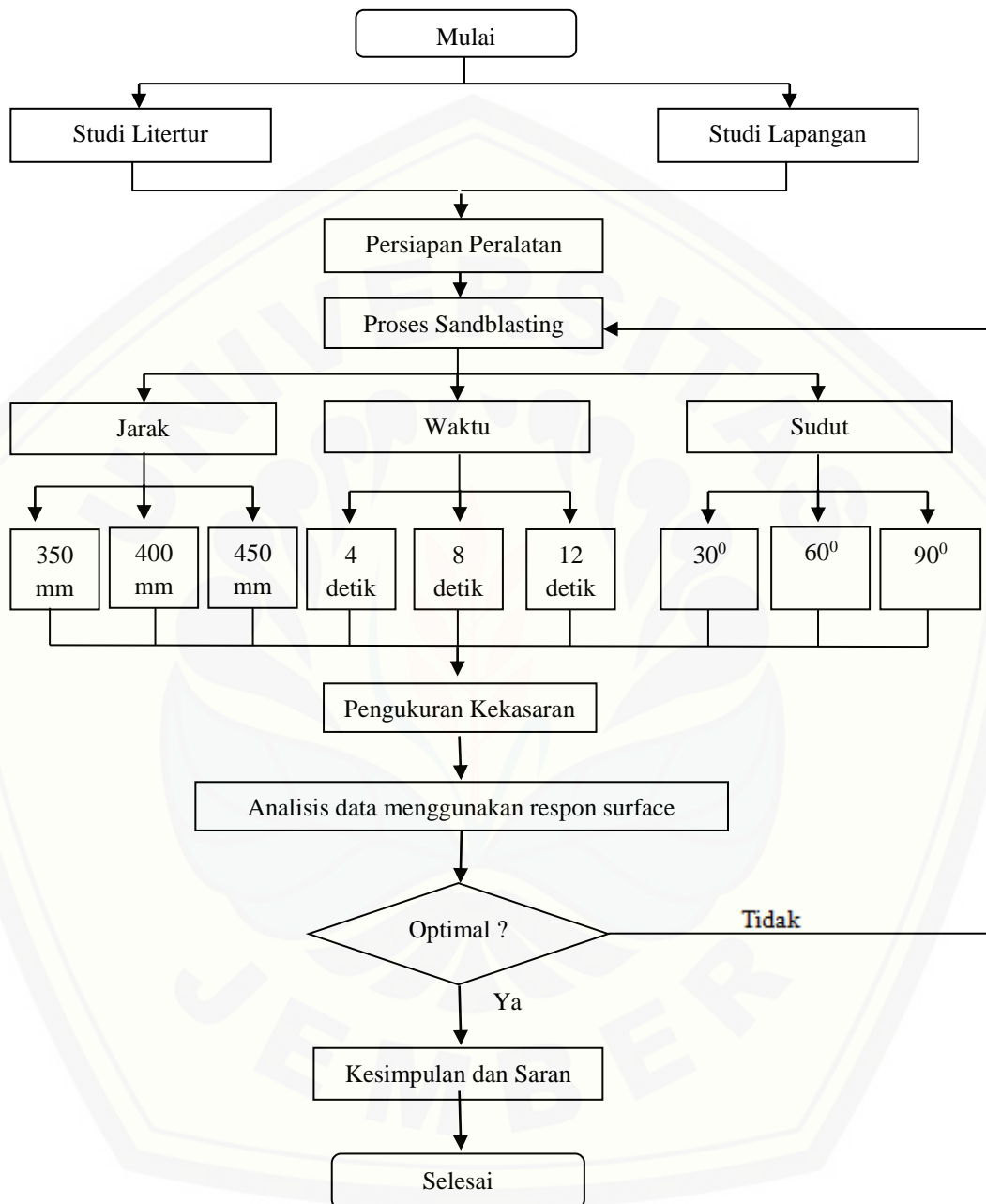
3. Pengujian Model

Pengujian dilakukan dengan pengujian asumsi klasik IIDN $(0, \alpha^2)$. Pengujian ini terdiri dari pengujian normalitas, uji identik, uji independen dan uji multikolinieritas. Setelah dilakukan pengujian asumsi klasik dilakukan pengujian kesesuaian model. Pengujian yang dilakukan yaitu antara lain uji determinasi (R^2), uji *lack of fit*, uji parameter serentak dan uji parsial.

3.5. Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu melakukan analisis dan interpretasi (tafsiran) terhadap hasil pengolahan data eksperimen. Dengan analisis dan interpretasi tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang telah dirumuskan. Selain itu juga diberikan saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan menganalisis hasil data yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Berdasarkan analisis dan pengolahan data menggunakan bantuan *software* minitab 17, didapatkan bahwa nilai kekasaran akan mengalami penurunan jika variabel jarak dalam proses penembakan ditingkatkan, ini terjadi dikarenakan apabila jarak penyemprotan yang terlalu jauh menyebabkan gaya tumbukan pasir tidak memusat. Untuk variabel sudut diperoleh perubahan nilai kekasaran yang signifikan dimana ketika sudut penembakan diubah semakin besar, maka nilai kekasaran juga akan mengalami peningkatan. Sedangkan pada variabel waktu didapatkan nilai kekasaran akan mengalami peningkatan karena aliran pasir yang keluar dan menumbuk permukaan spesimen lebih besar ketika level variabel juga ditingkatkan. Dari analisis dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dari ketiga variabel yang digunakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan.
- b. Dari ketiga variabel proses dengan menggunakan teknik-teknik statistika yang berguna untuk menduga pengaruh linier, kuadratik dan interaksi faktor antar variabel yang ada serta mengoptimumkan respon dengan menggunakan jumlah data yang minim, maka akan didapatkan hasil yang optimum, dengan mengatur variabel jarak pada 448,99 mm, variabel sudut pada 30° dan variabel waktu pada 4 detik maka akan menghasilkan nilai kekasaran yang telah ditargetkan oleh perusahaan yaitu 62,71 μm .

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan penelitian dan didapatkan nilai variabel yang optimum diharapkan perusahaan dapat menjadikan hasil dari penelitian ini sebagai pertimbangan untuk diterapkan pada proses *sandblasting* di perusahaan.
2. Penelitian tentang *sandblasting* masih dapat dilanjutkan dengan menggunakan variabel-variabel lain yang memiliki pengaruh terhadap nilai kekasaran seperti diameter *nozle*, jenis pasir yang digunakan, tekanan udara dan ukuran butiran pasir.
3. Untuk mendapatkan kekasaran yang diinginkan pastikan bahwa nilai level dari variabel-variabel proses yang digunakan berpengaruh terhadap pengujian yang akan dilakukan.
4. Dalam melakukan pengambilan sampel penelitian diharapkan melakukan pengulangan percobaan agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- As'ad, Muhammad. 2008. *Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Nilai Kekasaran pada Benda Kerja Plat dengan Bahan ST 37 Pada Proses Sand Blasting*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- ASTM D7127 – 13. 2013. *Standard Test Method for Measurement of Surface Roughness of Abrasive Blast Cleaned Metal Surfaces Using a Portable Stylus Instrument*. United States, West Conshohocken, PA 19428-2959.
- Faulina, Ria., Ahyani, Shofi. 2011. *Response Surface Methodology (RSM) dan Aplikasinya*. Surabaya : Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Irawan, Nur 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab14*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta
- Jamil, A'latul. 2012. *Perbandingan Kekuatan Pengecatan Pada Material yang Disandblasting dan Tidak Disandblasting*. Jurusan Teknik Perancangan dan Kontruksi Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- JPCL eBook. 2012. *Achieving Efficiency in Abrasive Blast Cleaning*. Pittsburgh : Technology Publishing Company 2100 Wharton Street, Suite 310 Pittsburgh, PA 15203
- Kurniawan, Erik (2013). Analisis Kekasaran Permukaan Pada Pross Sandblasting Dengan Variasi Sudu, Jarak, dan Butiran Pasir Silika Pada Pelat ST 37. Jember : Universitas Jember.
- Kristiyantoro, Tatag. 2009. Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kemasan Produk *Chamomile* 120 ml dengan Proses *Blow Molding*. Jember : Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
- Montgomery, Douglas. C. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. 5th Australia : John Wiley & Sons Inc
- Nuryanti, D. H. (2008). Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia. *Nasional*, 374
- Rochim, Taufik. 2007. *Proses Permesinan: Perkakas & Sistem Pemerkakasan*. Bandung: ITB.
- Rosidah, A., dkk. 2015. *Analisis Kekasaran Permukaan pada Proses Sand Blasting dengan Variasi Jarak, Tekanan, dan Sudut pada Pelat A 36 Menggunakan Metode Box Behnken*. Surabaya : Politeknik Perkapan Negeri Surabaya Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

- Setyarini, H.P. 2011. *Optimasi Proses Sand Blasting Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja Aisi 430*. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
- Sudjana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi III. Bandung :Tarsito
- Sulistyo, E. dan Setyarini, H.P. 2011. *Pengaruh Waktu Dan Sudut Penyemprotan Pada Proses Sand Blasting Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja AISI 430*. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
- Sulistyanto, D. 2017. “Analisis parameter *injection moulding* terhadap waktu siklus tutup botol 500 ml menggunakan desain *box-behnken*”. Skripsi. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember
- Susetyo Priyo, i. H. (2010) *Pemanfaatan Pasir Volcano Lumajang Sebagai Alternatif Abrasif di Galangan Kapal. 1-8*
- TEKNOS. 2012.*Handbookfor Corrosion Protectionof Steel Surfaces by Painting*. Finland :TeknosOy.
- Widiyarta, I.M., dkk. 2015. *Kekasaran Permukaan Baja Karbon Sedang Akibat Proses Sand-Blasting Dengan Variasi Tekanan dan Sudut Penyemprotan*. Bali : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362.
- Yusim, A.K., dan Triwikantoro. No Years. *Pengaruh Pengelasan Gmaw Terhadap Ketahanan Korosi Baja SS400 Studi Kasus Di PT. Inka Madiun*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Yusuf, Muhammad. 2009. *Optimasi Pengurangn Cacat Porositas Produk Coran Logam Velg Rubber Roll dengan Response Surface Methodology*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

LAMPIRAN

Lampiran A-1 Analisa Response Surface untuk Kekasaran

Box-Behnken Design

Factors: 3 Replicates: 1
 Base runs: 15 Total runs: 15
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Center points: 3

Response Surface Regression: kekasaran versus Jarak; Sudut; Waktu

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	390,977	43,442	15,86	0,004
Linear	3	209,940	69,980	25,55	0,002
Jarak	1	19,919	19,919	7,27	0,043
Sudut	1	105,391	105,391	38,48	0,002
Waktu	1	84,630	84,630	30,90	0,003
Square	3	154,335	51,445	18,78	0,004
Jarak*Jarak	1	0,651	0,651	0,24	0,646
Sudut*Sudut	1	148,415	148,415	54,19	0,001
Waktu*Waktu	1	0,756	0,756	0,28	0,622
2-Way Interaction	3	26,702	8,901	3,25	0,119
Jarak*Sudut	1	18,605	18,605	6,79	0,048
Jarak*Waktu	1	0,229	0,229	0,08	0,784
Sudut*Waktu	1	7,868	7,868	2,87	0,151
Error	5	13,694	2,739		
Lack-of-Fit	3	13,196	4,399	17,68	0,054
Pure Error	2	0,498	0,249		
Total	14	404,671			

Model Summary

S 1,65494
 R-sq 96,62%
 R-sq(adj) 90,52%
 R-sq(pred) 47,55%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		74,477	0,955	77,95	0,000	
Jarak	3,156	1,578	0,585	2,70	0,043	1,00
Sudut	7,259	3,630	0,585	6,20	0,002	1,00
Waktu	6,505	3,252	0,585	5,56	0,003	1,00
Jarak*Jarak	0,840	0,420	0,861	0,49	0,646	1,01
Sudut*Sudut	-12,680	-6,340	0,861	-7,36	0,001	1,01
Waktu*Waktu	0,905	0,452	0,861	0,53	0,622	1,01
Jarak*Sudut	4,313	2,157	0,827	2,61	0,048	1,00
Jarak*Waktu	0,478	0,239	0,827	0,29	0,784	1,00
Sudut*Waktu	2,805	1,402	0,827	1,69	0,151	1,00

Lampiran A-2 Optimasi Respon Kekasaran

Response Optimization: Kekasaran

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Kekasaran	Minimum		64,22	80,4067	1	1

Solution

Solution	Jarak	Sudut	Waktu	Kekasaran Fit	Composite Desirability
1	448,990	30	4	62,7114	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Jarak	448,990
Sudut	30
Waktu	4

Lampiran A-3. Tabel Distribusi F ($\alpha = 0.05$)

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Lampiran A-4. Tabel Distribusi t

Pr df	0.25 0.50	0.10 0.20	0.05 0.10	0.025 0.050	0.01 0.02	0.005 0.010	0.001 0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21	0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22	0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23	0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24	0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25	0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26	0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27	0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28	0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816
29	0.68304	1.31143	1.69913	2.04523	2.46202	2.75639	3.39624
30	0.68276	1.31042	1.69726	2.04227	2.45726	2.75000	3.38518
31	0.68249	1.30946	1.69552	2.03951	2.45282	2.74404	3.37490
32	0.68223	1.30857	1.69389	2.03693	2.44868	2.73848	3.36531
33	0.68200	1.30774	1.69236	2.03452	2.44479	2.73328	3.35634
34	0.68177	1.30695	1.69092	2.03224	2.44115	2.72839	3.34793
35	0.68156	1.30621	1.68957	2.03011	2.43772	2.72381	3.34005
36	0.68137	1.30551	1.68830	2.02809	2.43449	2.71948	3.33262
37	0.68118	1.30485	1.68709	2.02619	2.43145	2.71541	3.32563

Titik Persentase Distribusi t (df = 1 – 40)

Lampiran A-5. Tabel *Kolmogorof - Smirnov*

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

Lampiran B-1 Preparasi dan Proses *Sandblasting*



Pelat dipotong dengan ukuran 100 mm x 100 mm



Pengisian pasir *silica* ke *sandpot*



Pemasangan *nozzle* ke alat bantu



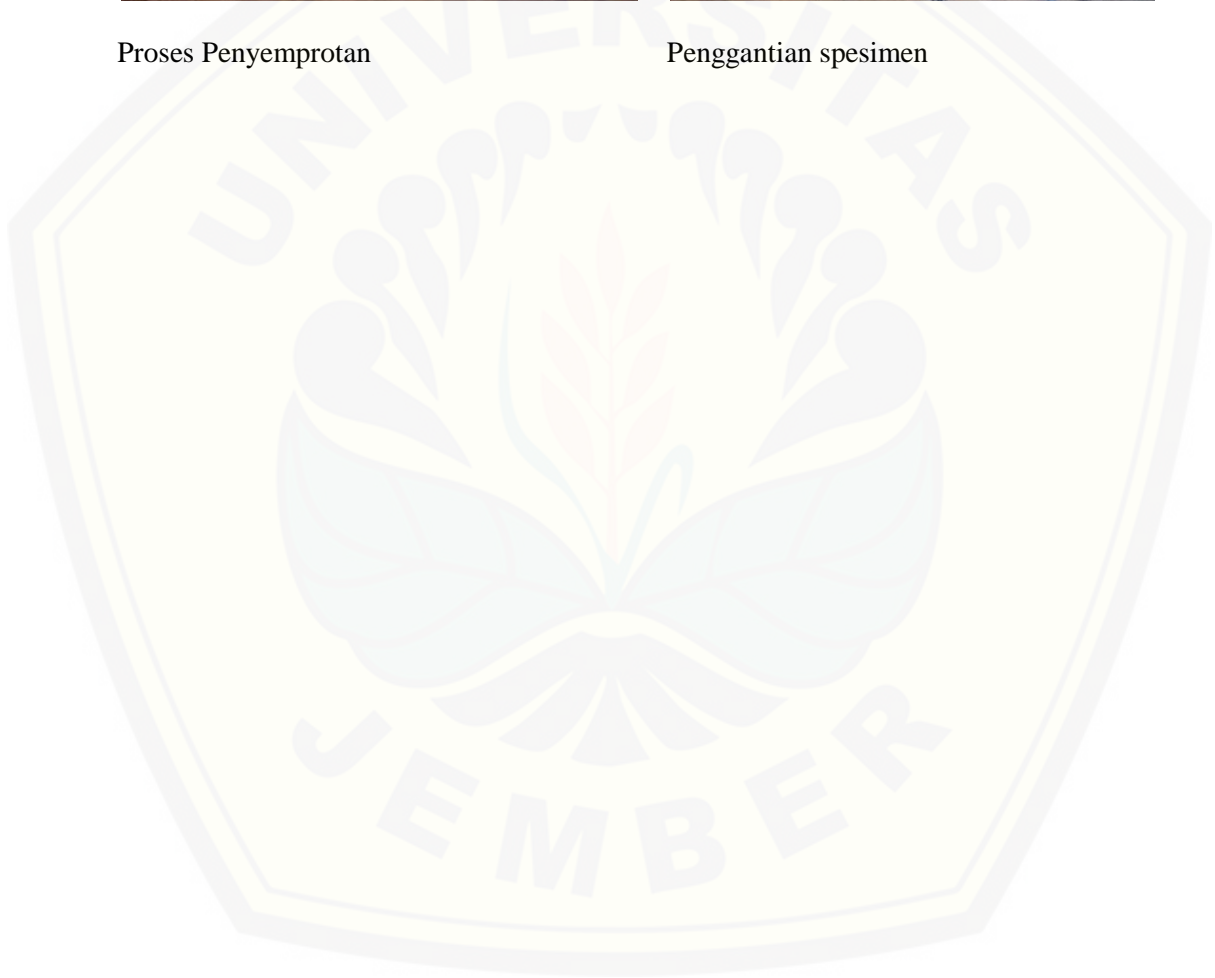
Pengukuran jarak dan sudut



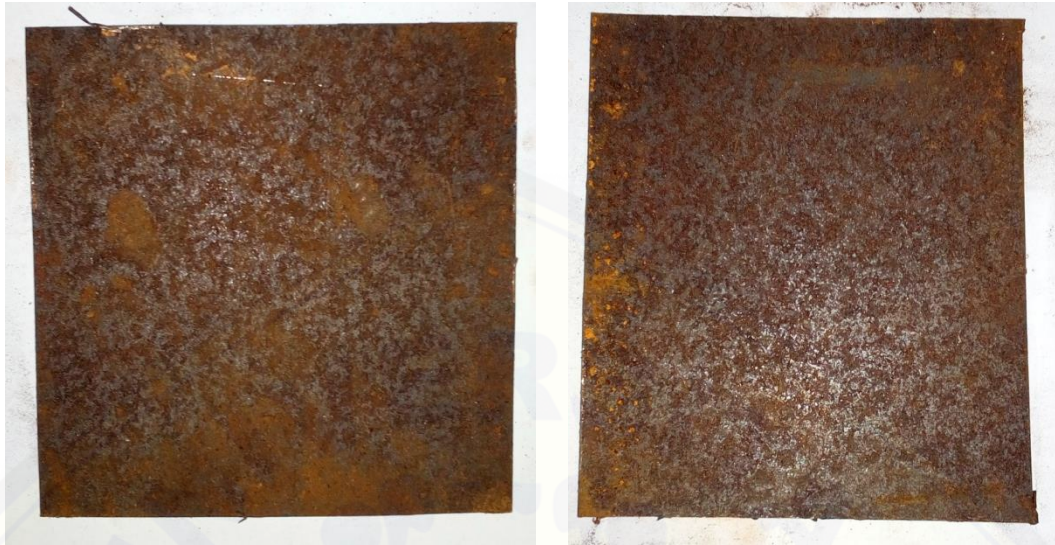
Proses Penyemprotan



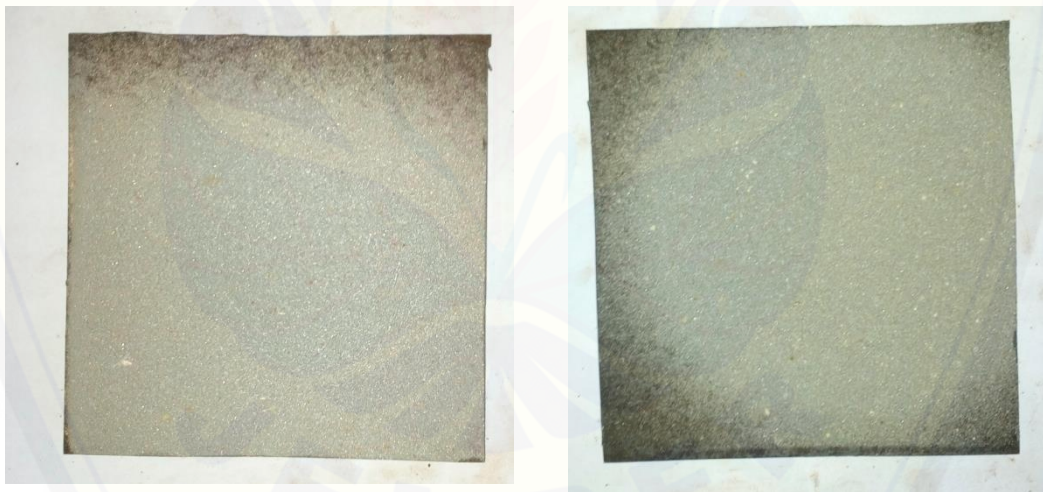
Penggantian spesimen



Lampiran B-2 Foto Bahan



Sebelum dilakukan *Sandblasting*



Setelah dilakukan *Sandblasting*

