



Analisis Proses *Sandblasting* Baja ST40 Variasi Tekanan, Jarak, dan Waktu *Nozzle* Terhadap Kekasaran serta Kekerasan Permukaan Menggunakan Metode *Taguchi*

Rachmad Adji Priyanto, Elisa Sulistyorini, ST., MT

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: Rachmadadji2001@gmail.com

ABSTRAK

Sandblasting merupakan metode penembakan partikel abrasif dengan tekanan yang tinggi pada permukaan material agar dapat menyebabkan benturan, menghilangkan kontaminasi, serta dapat menciptakan kekasaran profil pada pembersihan permukaan. *Sandblasting* adalah metode yang paling efisien dan tercepat agar dapat menghilangkan cat, karat, garam, maupun oli. Baja yang digunakan pada penelitian ini merupakan baja karbon rendah yaitu baja ST40 yang berdimensi 100 mm × 100 mm × 5 mm, dengan variasi yang digunakan yaitu tekanan 5, 6, 7 bar, jarak 40, 70, 100 cm, serta waktu 8, 10, dan 12 detik. Proses pengujian yang dilakukan yaitu uji kekasaran, uji kekerasan, pengukuran berat spesimen, serta perhitungan dalam metode *Taguchi*.

Logam yang kehilangan berat menandakan korosi, dikarenakan berupa parameter korosi agar dapat mengetahui umur komponen tersebut ataupun konstruksi logamnya. Perlakuan proses uji kekasaran mendapatkan hasil yang sama dengan perhitungan metode *Taguchi smaller the better* dimana pada variasi tekanan udara 5 bar rata-ratanya sebesar 63,77 µm, pada 6 bar 71,87 µm, serta 7 bar 84,78 µm. Hasil yang didapatkan menyatakan bahwa tekanan penyemprotan yang semakin besar maka gaya tumbuk pasir akan semakin besar pula, dan deformasi plastis semakin besar. Lalu variasi jarak pada 40 cm sebesar 82,11 µm, 70 cm sebesar 73,88 µm, dan 100 cm sebesar 65,44 µm, hasil yang didapatkan menunjukkan jarak yang semakin jauh mengakibatkan kekasaran juga semakin kecil, dan sebaliknya. Kemudian pada variasi waktu penyemprotan 8 detik rata-rata sebesar 70,88 µm, pada 10 detik sebesar 71,89 µm, dan 12 detik sebesar 78,65 µm, maka waktu yang semakin lama akan memperkasar permukaan baja, namun jika waktu sedikit maka memperkecil kekasaran permukaan.

Proses *sandblasting* juga dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan baja. Metode perhitungan yang digunakan yaitu *larger the better* yang menghasilkan nilai pada variasi tekanan udara 5 bar sebesar 74,07 HRB, pada 6 bar sebesar 74,50 HRB, dan 7 bar sebesar 74,80 HRB. Maka tekanan yang semakin tinggi akan menghasilkan kekerasan baja semakin besar. Kemudian pada variasi jarak menghasilkan rata-rata pada 40 cm sebesar 74,62 HRB, pada 70 cm sebesar 74,21 HRB, serta 100 cm sebesar 74,54 HRB. Hal ini menandakan jarak yang semakin jauh akan menurunkan nilai kekerasan baja, dan sebaliknya. Lalu variasi waktu mendapatkan rata-rata pada 8 detik sebesar 73,87 HRB, 10 detik sebesar 74,26 HRB, dan 12 detik sebesar 75,23 HRB. Maka disimpulkan waktu yang lama akan mengakibatkan nilai kekerasan akan semakin besar pula, dan sebaliknya waktu yang semakin sedikit mengakibatkan kekerasan baja semakin rendah.

Kata kunci : *Sandblasting, Tekanan, Jarak, Waktu, Kekasaran, Kekerasan*

ABSTRACT

Sandblasting is a method of shooting abrasive particles with high pressure on the surface of a material in order to cause some impact, or remove contamination, and also create a rough profile when cleaning the surface. Sandblasting is most efficient and the fastest method for removing paint, rust, salt and an oil. The steel in this research is classified as low carbon steel, namely ST40 steel with dimensions of 100 mm × 100 mm × 5 mm, with variations used, namely pressure 5, 6, 7 bar, distance 40, 70, 100 cm, and time 8, 10, and 12 seconds. The testing process carried out is roughness test, hardness test, measurement of specimen weight, as well as calculations using the Taguchi method.

Metal that loses weight indicates corrosion, because it is a corrosion parameter so you can know the age of the component or its metal construction. The treatment of the roughness test process obtained the same results as the Taguchi smaller the better method calculations where at 5 bar air pressure variations the average was 63,77 μm, at 6 bar 71,87 μm, and 7 bar 84,78 μm. The results obtained state that if the spraying pressure is greater, the sand impact force will be greater and the plastic deformation will be greater. Then the distance variation at 40 cm is 82,11 μm, 70 cm is 73,88 μm, and 100 cm is 65,44 μm. The results show that the greater the distance, the rougher it becomes, and vice versa. Then at varying spray times of 8 seconds the average is 70,88 μm, at 10 seconds it is 71,89 μm, and at 12 seconds it is 78,65 μm, so the longer time will roughen the steel surface, but if the time is short it will reduce surface roughness.

The sandblasting is also carried out to obtain the hardness value of the steel. The calculation method used is larger the better which produces a value at 5 bar of air pressure variation of 74,07 HRB, at 6 bar of 74,50 HRB, and 7 bar of 74,80 HRB. So the higher the pressure, the greater the hardness of the steel. Then variations in distance produce an average of 74,62 HRB at 40 cm, 74,21 HRB at 70 cm, and 74,54 HRB at 100 cm. This indicates that greater distance will reduce the steel hardness value, and vice versa. Then the variation in time gets an average of 8 seconds of 73,87 HRB, 10 seconds of 74,26 HRB, and 12 seconds of 75,23 HRB. So it is concluded that a long time will result in a greater hardness value, and conversely a shorter time will result in a lower steel hardness.

Keywords : Sandblasting, Pressure, Distance, Time, Roughness, Hardness

PENDAHULUAN

Sandblasting merupakan proses untuk pembersihan permukaan dengan partikel (pasir) yang ditembakkan pada permukaan material sehingga permukaan tersebut terjadi gesekan atau tumbukan agar material tidak terkontaminasi garam, karat maupun oli. Selain itu akan terbentuk profil kekasaran permukaan baja yang mengakibatkan cat menjadi lebih melekat (Djumhariyanto, *et al.*, 2018).

Penggunaan bahan abrasif pada proses pembersihan berprinsip pada terjadinya peristiwa *impact*. Partikel kecil yang menabrak dengan kecepatan tinggi mengakibatkan perubahan kekasaran berubah dan kontaminan debu, karat, dan *coating* akan tersingkirkan dari permukaan (Rosidah, 2015). Selain itu juga berfungsi sebagai

pembentukan profil kekasaran menjadi kasar ataupun halus pada permukaan metal sehingga cat atau bahan pelapis lainnya yang diaplikasikan tidak mudah terkelupas, lebih melekat dengan baik, serta peluang korosi akan berkurang (Adiansyah, 2021).

Ketidakteraturan tekstur permukaan baja dan proses perlakuan merupakan bagian dari kekasaran. Pada proses perancangan peralatan maupun komponen mesin penting untuk memperhatikan karakteristik permukaan bahan. Hal yang perlu dinyatakan jelas pada karakteristik permukaan adalah adanya kaitan dengan keausan, ketahanan kelelahan, gesekan, pelumasan, serta melekatnya dua komponen mesin ataupun lebih (Sugiantoro, 2018). Kekerasan dengan metode *Rockwell* merupakan suatu pengujian kekerasan dengan proses yang tidak lama, tidak

menggunakan mikroskop saat mengukur jejak, prosesnya sederhana, serta kecil kemungkinan material terjadi kerusakan, maka dari itu proses ini sering digunakan pada produksi.

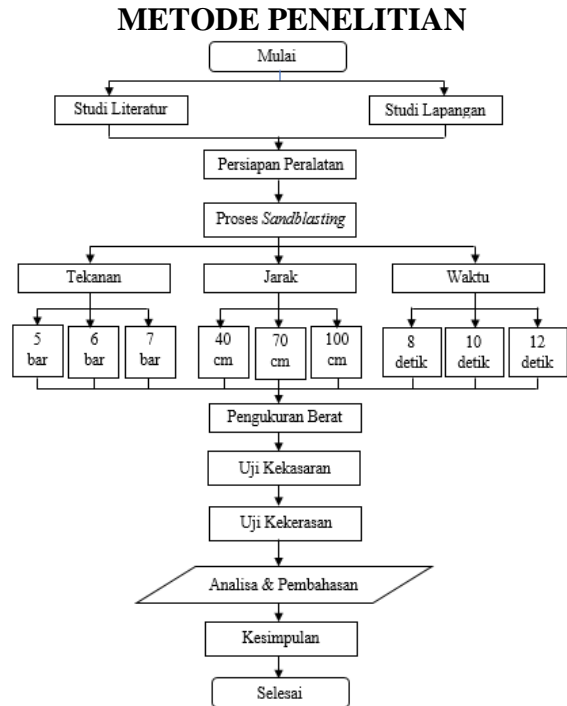
Metode *taguchi* merupakan metode yang digunakan pada teknik yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas dari suatu produk maupun proses yang singkat dan dilakukan bersamaan agar biaya yang digunakan dapat ditekan serta minim penggunaan sumber daya. Metode *taguchi* biasa digunakan pada macam-macam faktor seperti manufaktur, perlengkapan, material, tenaga kerja manusia, serta kondisi-kondisi operasional agar proses pembuatan produk tersebut mencapai sasaran (Soejanto, 2009). Tujuan dari metode *taguchi* adalah untuk menentukan pengaturan yang dapat dikontrol yang menghasilkan produk / proses bersifat kokoh (*robust*) yang kuat, tidak sensitif pada faktor-faktor *noise* maka metode inilah yang disebut sebagai perancangan kokoh atau *robust design* (Mitra, 2011). Dalam *taguchi* terdapat dua macam analisis yaitu :

1. ANOM (*Analysis of Mean*)
2. ANOVA (*Analysis of Variant*)

Analysis of mean merupakan analisis untuk mendapatkan kombinasi dari parameter kendali yang menghasilkan hasil optimum sesuai dengan keinginan. Sedangkan *analysis of variant* adalah cara yang digunakan untuk dapat mengetahui besarnya pengaruh parameter kendali pada suatu proses.

Pada metode *taguchi* terdapat beberapa istilah yang digunakan yaitu :

1. Derajat bebas (*degree of freedom*)
2. Matrik *orthogonal array*
3. Interaksi antar faktor
4. *Signal to Noise Ratio* (Rasio S/N)
5. *Sum of square*



DASAR TEORI

Derajat bebas pada metode *taguchi* adalah perbandingan yang digunakan pada beberapa level yang merupakan efek utama atau interaksi pada penentuan jumlah percobaan paling sedikit yang telah dilakukan. Dengan pertimbangan percobaan *orthogonal array* digunakan yang paling kecil agar informasi yang diinginkan cukup pada proses percobaan. Derajat kebebasan dapat dihitung dengan perhitungan :

- a. Faktor penting, contoh faktor A dan B :

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1$$

$$V_A = kA \cdot 1$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) - 1$$

$$V_B = kB \cdot 1$$

- b. Interaksi, contoh interaksi A serta B

$$V_{A \times B} = (kA \cdot 1)(kB \cdot 1)$$

- c. Total nilai derajat bebas

$$V_t = (kA \cdot 1) + (kB \cdot 1) + (kA \cdot 1)(kB \cdot 1)$$

Orthogonal Array merupakan matriks yang berasal dari bebaris dan kolom. Disebut sebagai *orthogonal array* adalah karena masing-masing level dari setiap faktor akan *balance* serta dapat dipisahkan dari beberapa pengaruh faktor selama percobaan. Pada *orthogonal array* memiliki cara penomoran dengan cara sebagai berikut ini :

Orthogonal array = $L_a(b^c)$

Dimana L merupakan rancangan dari bujur sangkat latin, a adalah banyaknya baris atau eksperimen, b banyaknya level yang digunakan, serta c adalah banyaknya kolom atau faktor percobaan.

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{32}(2^{11} \times 3^{13})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$	-	-	-	$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

Metode *taguchi* dapat dioptimalisasi dengan memperhatikan nilai rasio S/N. Rasio S/N adalah angka yang mewakili perbandingan antara sinyal dan *noise* suatu parameter kontrol. Pada optimasi permasalahan statik jenis rasio S/N yang digunakan terdapat tiga macam, yaitu :

a. *Smaller the Better* (semakin kecil semakin baik)

Optimasi jenis ini merupakan optimasi yang biasa digunakan pada pengoptimalisasian suatu produk yang cacat, dimana harga yang ideal harus bisa sama dengan nol (0). Rumus yang digunakan untuk menghitungnya yaitu :

$$\frac{S}{N} \text{ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

Dimana :

y = rata-rata dari masing-masing percobaan

b. *Larger the Better* (semakin besar semakin baik)

Jenis optimasi ini berkebalikan dengan optimasi sebelumnya *smaller the better*, semakin besar hasil maka nilai karakteristik kualitas yang besar diinginkan, rumus yang digunakan untuk perhitungan yaitu :

$$\frac{S}{N} \text{ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right)$$

c. *Nominal the Better*

Optimasi ini digunakan paling banyak pada proses yang menetapkan sesuatu yang telah mutlak atau yang diinginkan. Hasil yang dihasilkan tidak dapat lebih kecil ataupun lebih besar dibandingkan dengan nilai

yang ditetapkan sebelumnya.

Rumus sebagai berikut ini :

$$\frac{S}{N} \text{ratio} = -10 \log \frac{y^{-2}}{s^2}$$

$$s^2 = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r x_i - x \right)}{n - 1}$$

Dimana :

S^2 = Varian percobaan

x_i = nilai kombinasi ke-n

x = nilai rata-rata dari tiap kombinasi

Sum of Square atau jumlah kuadrat merupakan jumlah perubahan nilai rasio *signal-to-noise* untuk setiap level parameter kontrol. Nilai dari *Sum of Square* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$SS = \sum_{i=1}^n (R_i - R)^2$$

Dimana :

n = jumlah level dari tiap faktor kontrol

R_i = nilai S/N ratio level ke-n

R = nilai rata-rata S/N ratio dari ke-3 level pada sebuah faktor kontrol

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Pengujian Berat Spesimen

Korosi dapat dianggap sebagai proses kebalikan dari pemurnian atau ekstraksi logam. Laju korosi disebabkan oleh hilangnya berat atau ketebalan logam yang diakibatkan adanya korosi. Penurunan berat pada logam merupakan parameter korosi yang sering digunakan dalam analisis suatu umur komponen atau dalam suatu struktur logam (Sulistyo & Hadi, 2011). Hasil data pengukuran berat spesimen :

No	Parameter			Berat replikasi ke- (gram)		
	Tekanan	Jarak	Waktu	1	2	3
Raw material				384,65	380,94	379,03
1	5	40	8	383,12	382,86	378,20
2	5	70	10	376,38	383,38	380,46
3	5	100	12	375,32	382,46	382,26
4	6	40	10	374,59	382,86	383,01
5	6	70	12	383,11	380,45	379,17
6	6	100	8	377,74	378,26	377,92
7	7	40	12	380,91	376,94	380,16
8	7	70	8	382,74	383,05	383,38
9	7	100	10	378,26	377,71	382,23

• **Pengolahan dan Analisis Data Kekasaran Permukaan**

Proses *sandblasting* yang telah dilakukan mendapatkan data hasil dari nilai kekasaran yang dilakukan tiga kali pada permukaan benda kerja berdasarkan *orthogonal array L₉* (3³) pada metode *taguchi*. Semakin kecil nilai kekasaran permukaan yang diperoleh maka akan semakin baik. Maka dari itu pada pengoptimalisasian data ini menggunakan jenis *smaller the better*.

A. Perhitungan *S/N Ratio*

Penelitian ini menghasilkan data yang selanjutnya digunakan menghitung nilai rasio *S/N* pada setiap data. Dari percobaan dihasilkan 3 nilai data kekasaran permukaan. Nilai *S/N ratio* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 ((69^2) + (65^2) + (63^2)) \right)$$

$$\eta = -36,35$$

Demikian seterusnya untuk perhitungan *S/N ratio*.

No	Parameter Kendali			Replikasi			Rz Rata-rata (µm)	S/N ratio
	Tekanan (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)	1	2	3		
1	5	40	8	69	65	63	65,66	-36,35
2	5	70	10	72	64	65	67	-36,53
3	5	100	12	58	62	56	58,66	-35,37
4	6	40	10	78	72	80	76,66	-37,70
5	6	70	12	76	73	71	73,3	-37,30
6	6	100	8	65	64	68	65,66	-36,34
7	7	40	12	92	100	120	104	-40,39
8	7	70	8	79	84	81	81,33	-38,20
9	7	100	10	68	76	76	72	-37,19

Signal to Noise Ratio merupakan nilai transformasi dari nilai *mean*. Nilai rasio *S/N* yang semakin besar akan mengakibatkan pengaruh dari level suatu faktor semakin besar pula. Untuk menentukan level mana yang mempunyai pengaruh paling besar terhadap suatu faktor, diperlukan nilai efek masing-masing faktor yang berupa nilai rata-rata rasio *S/N* hasil percobaan pada level faktor tersebut. Perhitungan nilai rata-rata kekasaran permukaan benda kerja melalui kombinasi level dari faktor dapat dilihat di bawah ini.

1. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 1 yaitu pada percobaan 1,2, dan 3.

$$\bar{A}_1 = \frac{(-36,35)+(-36,53)+(-35,37)}{3}$$

$$= -36,08$$

2. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 2 yaitu pada percobaan 4,5, dan 6.

$$\bar{A}_2 = \frac{(-37,70)+(-37,30)+(-36,34)}{3}$$

$$= -37,11$$

3. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 3 yaitu pada percobaan 7,8, dan 9.

$$\bar{A}_3 = \frac{(-40,39)+(-38,20)+(-37,19)}{3}$$

$$= -38,59$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk setiap faktor masing-masing interaksi.

Respon rata-rata kekasaran permukaan terhadap *S/N ratio* sebagai berikut :

Level	Tekanan Udara (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)
1	-36,08	-38,14	-36,96
2	-37,11	-37,34	-37,14
3	-38,59	-36,30	-37,68
Selisih	2,501	1,84	0,72
Rangking	1	2	3

Karakteristik kualitas semakin kecil maka akan semakin baik, rasio *signal to noise* didefinisikan sedemikian rupa sehingga karakteristik kualitas menjadi karakteristik yang semakin besar akan semakin baik.

B. Perhitungan ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analisis varian merupakan serangkaian perhitungan yang mengetahui sejauh mana pengaruh setiap faktor terhadap suatu variabel respon. Penerapan varian dua arah melibatkan beberapa langkah yaitu :

1. Perhitungan analisis varian

- a) \bar{y} = Rata-rata jumlah *S/N ratio* total pada eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{(-36,35) + (-36,53) + \dots + (-37,19)}{9}$$

$$\bar{y} = -37,26$$

- b) S_T = Jumlah kuadrat dari nilai *S/N ratio* total pada eksperimen keseluruhan

$$S_T = \sum Y^2$$

$$S_T = (-36,35)^2 + (-36,53)^2 + \dots + (-37,19)^2$$

- $S_T = 12513,66$
 c) S_m = Jumlah kuadrat karena rata-rata dari masing-masing faktor dan interaksi

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2$$

$$S_m = 9 \times (-37,26)^2$$

$$S_m = 12494,77$$

- d) S_A = Jumlah kuadrat faktor tekanan udara

$$S_A = \frac{[TotalA_1]^2}{n_1} + \frac{[TotalA_2]^2}{n_2} + \frac{[TotalA_3]^2}{n_3} - \frac{[TotalA]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_A = \frac{[-36,08]^2}{3} + \frac{[-37,11]^2}{3} + \frac{[-38,59]^2}{3} - \frac{[-111,78]^2}{9}$$

$$S_A = 1,06$$

Jumlah kuadrat untuk faktor jarak dan waktu penyemprotan serta interaksinya dihitung dengan cara yang sama seperti jumlah kuadrat koefisien tekanan diatas.

- e) S_e = Jumlah kuadrat error
 $S_e = S_T - S_m - S_A - S_B - S_C$
 $S_e = 12513,66 - 12494,77 - 1,06 - 0,57 - 0,09$

$$S_e = 17,17$$

- f) MS_A = rata-rata jumlah kuadrat faktor tekanan udara

$$MS_A = \frac{S_A}{V_A}$$

$$MS_A = \frac{1,06}{2} = 0,53$$

Dimana :

$$V_A = (level - 1)$$

$$V_A = (3 - 1)$$

$$V_A = 2$$

Dilakukan dengan cara yang sama untuk menghitung rata-rata jumlah kuadrat jarak waktu.

- g) *F-ratio*

F-ratio dihitung dengan pembagian rata-rata jumlah kuadrat dengan jumlah kuadrat *error*. *F-ratio* dihitung dengan rumus berikut:

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e}$$

$$F_A = \frac{0,53}{8,58} = 0,06$$

Begitu juga untuk perhitungan *F-ratio* pada jarak dan waktu.

2. Menghitung ρ = persen kontribusi

Persen kontribusi dihitung menggunakan jumlah kuadrat sesungguhnya dan dibagi dengan jumlah kuadrat total.

- a) S' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya pada faktor tekanan udara adalah sebagai berikut :

$$SA' = SA - vA \cdot Ve$$

$$SA' = 1,06 - (2 \times 8,58)$$

$$SA' = -16,1$$

Perhitungan persen kontribusi pada jarak penyemprotan dan waktu dihitung dengan cara yang sama. Sedangkan jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk *error* adalah sebagai berikut :

$$Se' = St - SA' - SB' - SC'$$

$$Se' = 18,89 - (-16,1) - (-16,59) - (-17,07)$$

$$Se' = 1366,159$$

Dimana :

$$St = S_t - S_m$$

$$St = 12513,66 - 12494,77$$

$$St = 18,89$$

- b) ρ – Persen kontribusi

Pada faktor tekanan udara dihitung persen kontribusi sebagai berikut :

$$\rho A = \frac{SA'}{St} \times 100\%$$

$$\rho A = \frac{-16,1}{18,89} \times 100\%$$

$$\rho A = 0,85\%$$

Persen kontribusi dari jarak, waktu, serta error dapat dihitung menggunakan cara yang sama. Sehingga hasil dari perhitungan analisis varian untuk *Signal to Noise Ratio* dapat dilihat dibawah ini.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	p %
Tekanan udara	1,06	2	0,53	0,06	-16,1	0,05
Jarak Penyemprotan	0,57	2	0,28	0,03	-16,59	0,88
Waktu Penyemprotan	0,09	2	0,04	0,004	-17,04	0,90
E	17,17	2	8,58	1,00	68,65	3,63
St	18,89	8	2,36	-	18,89	100,00
Mean	12494,77	1	-	-	-	-
ST	12513,66	9	-	-	-	-

3. Pooling Faktor yang Tidak Signifikan

Faktor yang tidak signifikan dicatat sebagai *error*. *Error* ini ditentukan dengan menggunakan metode *pooling up taguchi*, yang menganggap faktor-faktor tersebut sebagai *error*.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	p %
Tekanan udara	1,06	2	0,53	0,06	-16,1	0,05
Jarak Penyemprotan	0,57	2	0,28	0,03	-16,59	0,88
Waktu Penyemprotan	0,09	2	0,04	0,004	-17,07	0,90
E				Pooling		
St	18,89	8	2,36	-	18,89	100,00
Mean	12494,77	1	-	-	-	-
ST	12513,66	9	-	-	-	-

Pada pengujian faktor digunakan tingkat level kepercayaan sebesar 95% ($\alpha = 0,05$) agar dapat mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan dilakukannya perbandingan F_{hitung} dan F_{tabel} . F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} menunjukkan terdapat pengaruh atau merupakan faktor terpenting pada faktor kekasaran permukaan.

• **Prediksi Rata-rata Signal to Noise Ratio Kekasaran yang Optimal**

Respon rata-rata kekasaran permukaan yang berpengaruh terhadap rasio S/N secara signifikan pada kekasaran permukaan adalah tekanan udara pada level 1 yaitu 5 bar. Dalam matriks *orthogonal array* hanya ada satu faktor yang dipilih dikarenakan hanya diambil setengah dari derajat kebebasannya. Persamaan dari rata-rata kekasaran permukaan yang didapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{A}_1 - \bar{y}) \\ &= -37,26 \\ &\quad + ((-36,08) - (-37,26)) \\ &= -36,08 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan dari rata-rata kekasaran permukaan benda kerja pada nilai taraf signifikan $\alpha = 0,05$ adalah sebagai berikut.

Diketahui : $F_{0,05;1;2} = 18,51$ dan $Mq_e = 17,17$

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + 2} = \frac{27}{3} \\ &= 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C1 &= \pm \sqrt{F_{(0,05;1;2)} \times V_e \frac{1}{n_{eff}}} \\ &= \pm \sqrt{18,51 \times 17,17 \times \frac{1}{9}} \\ &= \pm 5,94 \end{aligned}$$

Maka prediksi dari interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan pada proses optimum adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - C1 &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + C1 \\ -36,08 - 5,94 &\leq -36,08 \leq -36,08 + 5,94 \\ -42,02 &\leq -36,08 \leq -30,14 \end{aligned}$$

• **Interval Kepercayaan untuk Level Faktor pada Kekasaran**

Meningkatkan proses sesuai dengan yang diharapkan untuk suatu percobaan yaitu 95% hasil test harus terkonfirmasi diantara $\pm x$ dari unit rata-rata prediksi. Perhitungan $\mu_{prediksi}$ sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} \bar{A}_1 &= \bar{y} + (\bar{A}_1 - \bar{y}) \\ &= -37,26 \\ &\quad + ((-36,08) - (-37,26)) \\ &= -36,08 \end{aligned}$$

Perhitungan $\mu_{prediksi}$ untuk jarak dan waktu penyemprotan menggunakan cara yang sama. Interval kepercayaan merupakan nilai antara nilai minimum dan maksimum yang rata-rata berada pada persentase kepercayaan. Sedangkan interval kepercayaan rata-rata kekasaran permukaan benda kerja pada nilai yang signifikan $\alpha = 0,05$ adalah sebagai berikut ini :

Diketahui : $F_{0,05;1;2} = 18,51$ dan $MS_e = 8,58$

$$\begin{aligned} C1 &= \pm \sqrt{F_{(0,05;1;2)} \times V_e \frac{1}{n}} \\ &= \pm \sqrt{18,51 \times 8,58 \frac{1}{9}} \\ &= \pm 4,20 \end{aligned}$$

Jadi prediksi interval kepercayaan rata-rata faktor tekanan udara level 1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} \bar{A}_1 - C1 &\leq \mu_{\text{prediksi}} \bar{A}_1 \leq \mu_{\text{prediksi}} \bar{A}_1 + C1 \\ -36,08 - 4,20 &\leq -36,08 \leq -36,08 + 4,20 \\ -40,28 &\leq -36,08 \leq -31,88 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan interval kepercayaan level faktor jarak dan waktu dilakukan dengan cara yang sama. Setelah itu ditentukan setting level terbaik proses *sandblasting* dalam tabel sebagai berikut.

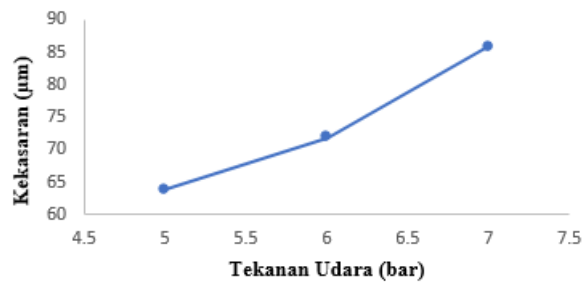
Level	Tekanan Udara (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)
1	-36,08	-38,14	-36,96
2	-37,11	-37,34	-37,14
3	-38,59	-36,30	-37,68

• **Analisis Pengaruh Variabel Proses terhadap Kekasaran Permukaan**

A. Variasi Tekanan Udara dengan Kekasaran Permukaan

Tekanan (bar)	Kekasaran Permukaan (µm)			Rata-rata
5	65,66	67	58,66	63,77
6	76,66	73,3	65,66	71,87
7	104	81,33	72	85,78

Hubungan Tekanan Udara dengan Kekasaran Permukaan

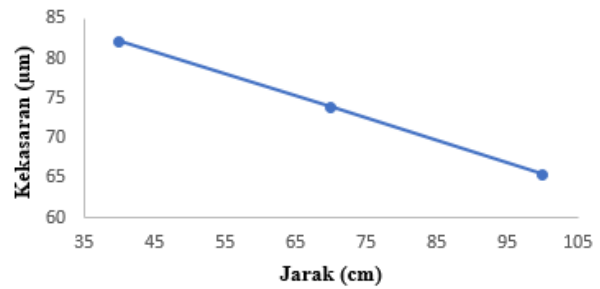


Hasil telah dibuktikan penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Widiyarta, 2015) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan semprotan maka gaya tumbukan pasir terhadap permukaan material akan semakin besar sehingga mengakibatkan deformasi plastis pada permukaan tersebut semakin besar. Peningkatan kekasaran permukaan material dengan meningkatnya tekanan injeksi juga dapat besar, sehingga diperlukan tekanan yang lebih rendah untuk mencapai nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah.

B. Variasi Jarak Penyemprotan dengan Kekasaran Permukaan

Jarak (cm)	Kekasaran Permukaan (µm)			Rata-rata
40	65,66	76,66	104	82,11
70	67	73,3	81,33	73,88
100	58,66	65,66	72	65,44

Hubungan Jarak dengan Kekasaran Permukaan

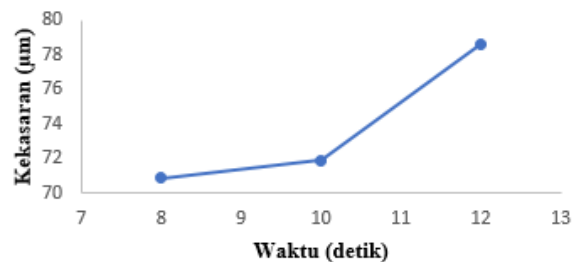


Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak penyemprotan maka nilai kekasaran permukaannya akan semakin kecil. Sebaliknya jika jarak penyemprotan kecil maka kekasaran permukaan akan menjadi lebih besar.

C. Variasi Waktu Penyemprotan dengan Kekasaran Permukaan

Waktu (detik)	Kekasaran Permukaan (µm)			Rata-rata
8	65,66	65,66	81,33	70,88
10	67	76,66	72	71,89
12	58,66	73,3	104	78,65

Hubungan Waktu dengan Kekasaran Permukaan



Menurut (Sulistyo & Hadi, 2011) semakin lama waktu penyemprotan maka profil baja akan semakin kasar. Namun jika waktu pemakaiannya singkat maka nilai kekasaran permukaannya akan kecil. Namun, perbedaan tertentu pada kekasaran permukaan menghasilkan permukaan yang lebih rendah atau lebih halus.

• **Pengolahan dan Analisis Data Nilai Kekerasan**

A. Perhitungan *S/N Ratio*

Nilai kekerasan yang semakin besar maka akan semakin baik. Dilakukan pengoptimalisasi data menggunakan jenis *larger the better*. Untuk optimasi jenis ini, rumus *S/N ratio* yang digunakan adalah :

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right)$$

Dihitung nilai rasio S/N pada data masing-masing. Data pertama dari percobaan didapatkan nilai kekasaran permukaan sebagai berikut :

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^1 \left(\left(\frac{1}{72,8^2} \right) + \left(\frac{1}{75,5^2} \right) + \left(\frac{1}{72,7^2} \right) \right) \right)$$

$$\eta = 32,57$$

No	Parameter Kendali			Replikasi			Rz Rata-rata (HRB)	S/N ratio
	Tekanan (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)	1	2	3		
1	5	40	8	72,8	75,5	72,7	73,66	32,57
2	5	70	10	74,2	73,4	73,4	73,66	32,57
3	5	100	12	75,4	74,7	74,6	74,9	32,72
4	6	40	10	73,5	76,4	73,4	74,43	32,66
5	6	70	12	75,9	74,3	74,9	75,03	32,73
6	6	100	8	76,1	71,6	74,4	74,03	32,61
7	7	40	12	75,5	76,8	75	75,76	32,82
8	7	70	8	73,2	74,9	72,7	73,93	32,56
9	7	100	10	73,7	76,2	74,2	74,7	32,69

Perhitungan nilai rata-rata kekerasan permukaan benda kerja dengan menggabungkan kombinasi masing-masing koefisien adalah sebagai berikut :

1. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 1 yaitu pada percobaan 1, 2, 3.

$$\bar{A}_1 = \frac{32,57 + 32,57 + 32,72}{3} = 32,62$$

2. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 2 yaitu pada percobaan 4, 5, 6.

$$\bar{A}_2 = \frac{32,66 + 32,73 + 32,61}{3} = 32,67$$

3. Rata-rata respon untuk pengaruh faktor tekanan udara (A) level 3 pada percobaan 7, 8, 9.

$$\bar{A}_3 = \frac{32,82 + 32,56 + 32,69}{3} = 32,69$$

Perhitungan pada cara yang sama dilakukan pula untuk setiap faktor dan interaksi.

Level	Tekanan udara (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)
1	32,62	32,68	32,58
2	32,67	32,62	32,64
3	32,69	32,67	32,76
Selisih	0,07	0,06	0,18
Rangkang	2	3	1

B. Perhitungan ANOVA (Analysis of Variance)

Tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan varian dua arah yaitu sebagai berikut :

1. Perhitungan analisis varian

- a) \bar{y} = Rata-rata jumlah S/N ratio total pada eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{32,57+32,57+32,72+32,66+ \dots +32,69}{9}$$

$$\bar{y} = 32,66$$

- b) S_T = Jumlah kuadrat dari nilai S/N ratio total pada eksperimen keseluruhan

$$S_T = \sum Y^2$$

$$S_T = 32,57^2 + 32,57^2 + \dots + 32,69^2$$

$$S_T = 9600,14$$

- c) S_m = Jumlah kuadrat rata-rata dari masing-masing faktor dan interaksi

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2$$

$$S_m = 9 \times (32,66)^2$$

$$S_m = 9600,08$$

- d) S_A = Jumlah kuadrat faktor tekanan udara

$$S_A = \frac{[TotalA_1]^2}{n_1} + \frac{[TotalA_2]^2}{n_2} +$$

$$\frac{[TotalA_3]^2}{n_3} - \frac{[TotalA]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_A = \frac{32,62^2}{3} + \frac{32,67^2}{3} + \frac{32,69^2}{3} - \frac{97,98^2}{9}$$

$$S_A = 8,67 \times 10^{-4}$$

Jumlah kuadrat untuk faktor jarak dan waktu penyemprotan beserta interaksi dapat dihitung dengan langkah perhitungan yang sama.

- e) S_e = Jumlah kuadrat error

$$S_e = S_T - S_m - S_A - S_B - S_C$$

$$S_e = 9600,14 - 9600,08 - (8,67 \times 10^{-4}) - (6,89 \times 10^{-4})$$

$$- (5,16 \times 10^{-3})$$

$$S_e = 0,05$$

- f) MS_A = rata-rata jumlah kuadrat faktor tekanan udara

$$MS_A = \frac{S_A}{V_A}$$

$$MS_A = \frac{8,67 \times 10^{-4}}{2} = 4,335 \times 10^{-4}$$

Dimana :

$$V_A = (level - 1)$$

$$V_A = (3 - 1)$$

$$V_A = 2$$

Rata-rata jumlah kuadrat faktor jarak dan waktu penyemprotan dihitung dengan cara yang sama.

g) F-ratio

F-ratio dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat dengan jumlah kuadrat error. Pada perhitungan F-ratio tekanan udara adalah sebagai berikut :

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_e}$$

$$F_A = \frac{4,335 \times 10^{-4}}{10,97} = 0,0173$$

Begitu juga untuk perhitungan F-ratio pada jarak dan waktu.

2. Menghitung ρ = persen kontribusi

a) S' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk faktor tekanan udara :

$$SA' = SA - vA \cdot Ve$$

$$SA' = 8,67 \times 10^{-4} - (2 \times 0,025)$$

$$SA' = -0,0491$$

Untuk perhitungan persen kontribusi jarak dan waktu dihitung dengan cara yang sama. Sedangkan jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk error adalah sebagai berikut :

$$Se' = St - SA' - SB' - SC'$$

$$Se' = (0,06) - (-0,0491) - (-0,0493) - (-0,0444)$$

$$Se' = 0,2028$$

Dimana :

$$St = St - Sm$$

$$St = 9600,14 - 9600,08$$

$$St = 0,06$$

b) ρ – Persen Kontribusi

Persen kontribusi untuk faktor dari tekanan udara adalah sebagai berikut :

$$\rho_A = \frac{SA'}{St} \times 100\%$$

$$\rho_A = \frac{-0,0491}{0,06} \times 100\%$$

$$\rho_A = 0,82\%$$

Untuk persen kontribusi faktor jarak dan waktu penyemprotan serta error dapat dihitung dengan cara yang sama.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	ρ %
Tekanan udara	$8,67 \times 10^{-4}$	2	$4,335 \times 10^{-4}$	0,0173	-0,0491	0,82
Jarak penyemprotan	$6,89 \times 10^{-4}$	2	$3,445 \times 10^{-4}$	0,0138	-0,0493	0,82
Waktu Penyemprotan	$5,6 \times 10^{-3}$	2	$2,8 \times 10^{-3}$	0,112	-0,0444	0,74
E	0,05	2	0,025	1,00	-0,2028	3,38
St	0,06	8	$7,5 \times 10^{-3}$	-	0,06	100,0
Mean	9600,08	1	-	-	-	-
ST	9600,14	9	-	-	-	-

3. Pooling Faktor yang Tidak Signifikan

Dilakukan pooling up faktor kedalam error agar faktor terhadap kekerasan signifikan. Menggunakan setengah derajat kebebasan dari matriks orthogonal agar terhindar dari kesalahan.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	ρ %
Tekanan udara	$8,67 \times 10^{-4}$	2	$4,335 \times 10^{-4}$	0,0173	-0,0491	0,82
Jarak penyemprotan	$6,89 \times 10^{-4}$	2	$3,445 \times 10^{-4}$	0,0138	-0,0493	0,82
Waktu Penyemprotan	$5,6 \times 10^{-3}$	2	$2,8 \times 10^{-3}$	0,112	-0,0444	0,74
E				Pooling		
St	0,06	8	$7,5 \times 10^{-3}$	-	0,06	100,0
Mean	9600,08	1	-	-	-	-
ST	9600,14	9	-	-	-	-

Hasil analisis varian untuk S/N ratio tersebut diuji dengan menggunakan faktor yang paling berpengaruh terhadap kekerasan pada tingkat kepercayaan sebesar 95% ($\alpha = 0,05$).

• **Prediksi Rata-rata Signal to Noise Ratio Kekerasan yang Optimal**

Digunakan 1 faktor pada matrik orthogonal dan diambil setengah derajat kebebasan. Model persamaan rata-rata kekasaran permukaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \bar{y} + (\bar{C}_3 - \bar{y}) \\ &= 32,66 + (32,76 - 32,66) \\ &= 32,76 \end{aligned}$$

Dengan interval kepercayaan rata-rata kekerasan benda kerja pada nilai taraf signifikan $\alpha = 0,05$ adalah sebagai berikut.

Diketahui : $F_{0,05;1;2} = 18,51$ dan $Mq_e = 0,05$

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan rata-rata}} \\ &= \frac{9 \times 3}{1 + 2} = \frac{27}{3} \\ &= 9 \end{aligned}$$

$$C1 = \pm \sqrt{F_{(0,05;1;2)} \times V_e \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,05 \times \frac{1}{9}}$$

$$= \pm 0,32$$

Jadi prediksi dari interval kepercayaan rata-rata kekerasan pada proses optimum sebagai berikut :

$$\mu_{prediksi} - C1 \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + C1$$

$$32,76 - 0,32 \leq 32,76 \leq 32,76 + 0,32$$

$$32,44 \leq 32,76 \leq 33,08$$

• **Interval Kepercayaan untuk Level Faktor**

Adapun perhitungan $\mu_{prediksi}$ sebagai berikut :

$$\mu_{prediksi} \bar{C}_3 = \bar{y} + (\bar{C}_3 - \bar{y})$$

$$= 32,66 + (32,76 - 32,66)$$

$$= 32,76$$

Untuk interval kepercayaan rata-rata kekerasan benda kerja pada nilai taraf signifikan $\alpha = 0,05$ dihitung sebagai berikut ini :

Diketahui : $F_{0,05;1;2} = 18,51$ dan $MS_e = 0,025$

$$C1 = \pm \sqrt{F_{(0,05;1;2)} \times V_e \frac{1}{n}}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,025 \times \frac{1}{9}}$$

$$= \pm 0,23$$

Jadi prediksi interval kepercayaan rata-rata faktor waktu level 1 sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} \bar{C}_3 - C1 \leq \mu_{prediksi} \bar{C}_3 \leq \mu_{prediksi} \bar{C}_3 + C1$$

$$32,76 - 0,23 \leq 32,76 \leq 32,76 + 0,23$$

$$32,53 \leq 32,76 \leq 32,99$$

Ditentukan setting level terbaik proses *sandblasting* dalam tabel sebagai berikut.

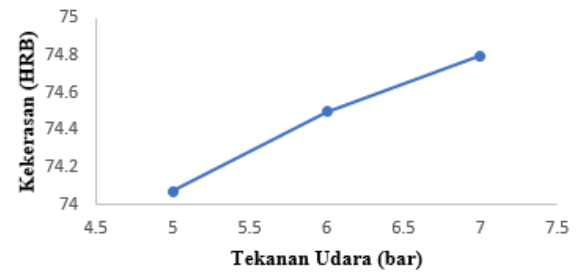
Level	Tekanan udara (bar)	Jarak (cm)	Waktu (detik)
1	32,62	32,68	32,58
2	32,67	32,62	32,64
3	32,69	32,67	32,76

• **Analisis Pengaruh Variabel Proses terhadap Kekerasan**

A. Variasi Tekanan Udara dengan Kekerasan

Tekanan (bar)	Kekerasan (HRB)			Rata-rata
5	73,66	73,66	74,9	74,07
6	74,43	75,03	74,03	74,50
7	75,76	73,93	74,7	74,80

Hubungan Tekanan Udara dengan Kekerasan

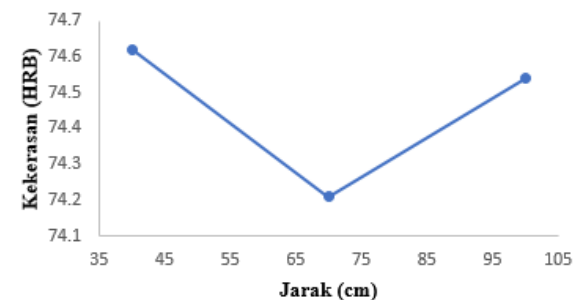


Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan udara yang ditembakkan pada benda kerja maka nilai kekerasan benda juga akan semakin besar.

B. Variasi Jarak Penyemprotan dengan Kekerasan

Jarak (cm)	Kekerasan (HRB)			Rata-rata
40	73,66	74,43	75,76	74,62
70	73,66	75,03	73,93	74,21
100	74,9	74,03	74,7	74,54

Hubungan Jarak dengan Kekerasan



Grafik tersebut menunjukkan bahwa jauh jarak penyemprotan akan menghasilkan nilai kekerasan yang rendah pula, sebaliknya jika jarak yang digunakan semakin dekat maka nilai kekerasan akan semakin tinggi.

C. Variasi Waktu Penyemprotan dengan Kekerasan

Waktu (detik)	Kekerasan (HRB)			Rata-rata
8	73,66	74,03	73,93	73,87
10	73,66	74,43	74,7	74,26
12	74,9	75,03	75,76	75,23



Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kekerasan benda kerja akan semakin besar saat waktu yang digunakan semakin lama, namun jika nilai kekerasan semakin kecil maka waktu yang digunakan akan semakin sedikit pula.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Analisa hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir yang dikerjakan dan berikut kesimpulannya :

1. Hasil penelitian kekasaran permukaan pada material baja ST40 menunjukkan terjadinya perubahan yang awalnya sebesar 43,3 μm berubah menjadi 58,66 μm nilai kekasaran paling rendah dari variasi 5 bar 100 cm 12 detik, sedangkan nilai kekasaran paling tinggi berasal dari variasi 7 bar 40 cm 12 detik sebesar 104 μm .
2. Pada material baja ST40 juga menghasilkan peningkatan nilai kekerasan yang awalnya nilai kekerasannya sebesar 71,9 HRB, dimana menghasilkan perubahan pada nilai kekerasan terendah sebesar 73,66 HRB berasal dari variasi 5 bar 40 cm 8 detik dan 5 bar 70 cm 10 detik, sedangkan nilai kekerasan paling tinggi yaitu 75,76 berasal dari variasi 7 bar 40 cm 12 detik.
3. Hasil penelitian ini menggunakan metode *taguchi* yang menunjukkan parameter paling berpengaruh terhadap

kekasaran permukaan adalah tekanan udara pada level 1 (5 bar) nilai *S/N ratio* -36,08, jarak pada level 3 (100 cm) sebesar -36,30, serta waktu pada level 1 dengan nilai sebesar -36,96. Sedangkan pada kekerasan objek parameter yang paling berpengaruh terhadap kekerasan adalah tekanan udara level 3 (7 bar) dengan nilai *S/N ratio* sebesar 32,69, jarak pada level 1 (40 cm) sebesar 32,68, serta waktu pada level 3 (12 detik) dengan nilai sebesar 32,76.

Saran

Dari penelitian ini terdapat saran untuk penelitian berikutnya yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan nilai kekasaran dan kekerasan yang optimum, perlu adanya variabel lainnya yang mempengaruhi seperti sudut penyemprotan, ukuran butir pasir, jenis pasir lain yang berpengaruh terhadap proses *sandblasting*.
2. Perlu diperhitungkan rencana keseluruhan sebelum dilakukannya proses *sandblasting* seperti bahan yang digunakan, alat dan bahan, selain itu parameter yang digunakan dan lain sebagainya agar hasil yang didapatkan dapat maksimal.

REFERENSI

- Adiansyah, M., 2021. *Pengaruh Tekanan Udara Sandblasting Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Baja Karbon ST 60*. Tegal: Politeknik Harapan Bersama .
- Anggoro, P., 2016. *Aplikasi DOE untuk Menentukan Setting Parameter Optimum pada Proses Pembuatan Produk Roll*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- As'ad, M., 2008. *Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Nilai Kekasaran pada Benda Kerja Plat dengan Bahan ST 37 pada*

- Proses Sandblasting*. Solo: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Aziz, A., 2016. *Sifat dan Jenis - Jenis Baja*. Gresik: Universitas Muhammadiyah.
- Djumhariyanto, D., Bigwanto, A. & Mulyadi, S., 2018. Analisis Proses Sandblasting dengan Variasi Jarak, Sudut, Waktu terhadap Kekasaran Permukaan dengan Metode Respon Surface. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII Tahun 2018 (ReTII)*, pp. 247-253.
- Dwilaksana, D. & Jatisukamto, G., 2017. Surface Roughness Analysis of Sandblasting Process with Variation of Pressure, Time, and Angle using Taguchi Method. *J-Proteksion*, 2(1), pp. 27-30.
- Mitra, A., 2011. The Taguchi Method. *Wires Computational Statistics*, Volume 3, pp. 472-480.
- Nafi, M., Sulistyono, D., Mufti, M. & Ruseno, D., 2022. Mekanika : Jurnal Teknik Mesin Analisa Kekerasan Rockwell dan Metalografi Hasil PWHT pada Pengelasan SMAW Baja ST41 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan. 8(1).
- NV, A. C. A. P., 2013. *Oil-Injected Rotary Screw Compressors*. Belgium: Atlas Copco Ltd.
- Pamungkas, W., Amalia, Y. & Zandy Miratahti, R., 2022. Pengaruh Jarak Nozzle Sandblasting Baja SS400 Terhadap Ketebalan Coating dan Laju Korosi. 15(2).
- Purbosari, D., 2012. *Karakterisasi Tingkat Kekasaran Permukaan BAJA ST 40 Hasil Permesinan CNC MILLING ZK 7040 Efek dari Kecepatan Pemakanan (Feed Rate) dan Awal Waktu Pemberian Pendingin*. s.l.:s.n.
- Rijal, K., 2019. Pengaruh Sudut dan Jarak Penembakan pada Proses Sandblasting terhadap Kekasaran Permukaan Baja SS400.
- Rizal, Y., Mesin, P. & Pengaraian, U., 1995. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Kekerasan (hardness) pada Roda Gigi Tarik Sepeda Motor Honda. pp. 139-144.
- Rizky, A. T., 2017. *Studi Pemanfaatan FLY ASH dan Limbah Sandblasting (SILICA FUME) Pada Binder Geopolimer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rosidah, A., 2015. *Analisis Kekasaran Permukaan pada Proses Sandblasting dengan Variasi Jarak, Tekanan, dan Sudut pada Pelat A 36 Menggunakan Metode Box Behnken*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Samuel & Wibawa, 2010. *Facilities Planning Workshop for Blasting Support the Activity of Development and Repair Ship in PT.Jasa Marina Indah Unit II*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Setyarini, H., 2011. *Optimasi Proses Sandblasting Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja Aisi 430*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimental dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugiantoro, 2018. *Analisis Kekasaran Permukaan Proses Sandblasting dengan Variasi Tekanan, Waktu dan Sudut menggunakan Metode Taguchi*. Jember: Universitas Jember.
- Sulistyo, E. & Hadi, P. S., 2011. Pengaruh Waktu dan Sudut Penyemprotan pada Proses Sandblasting terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja AISI 430. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(3), pp. 205-208.
- Trijatmiko, C., Pratikno, H. & Purniawan, A., 2016. Analisa Pengaruh Material Abrasif Pada Blasting Terhadap Kekuatan Lekat Cat dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Air Laut. 5(2), pp. 231-235.

Widiyarta, I., 2015. *Kekasaran Permukaan Baja Karbon Sedang Akibat Proses Sandblasting dengan Variasi Tekanan dan Sudut Penyemprotan*. Bali: Universitas Udayana.

Wulandari, A., Budiarto, U. & Manik, P., 2015. Pengaruh Tingkat Cleanliness dan Roughness Substrat pada Surface Preparation Terhadap Kekuatan Adhesi Tank Lining. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(1), pp. 39-46.