



Analisis proses *sandblasting* permukaan logam dengan pasir silika dan udara bertekanan 6 bar

Muhammad Iklil Ulil 'Ilmi¹, Firman Yasa Utama^{2*}, Warhu³, Diah Wulandari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231 E-mail: muhammadiklil.20006@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan variasi ukuran pasir terhadap lama proses *sandblasting*, serta mempelajari cara pengujian mesin *sandblasting* menggunakan kompresor dengan tekanan udara 6 bar. Masalah metode *predegreasing* yang digunakan oleh sebagian masyarakat masih menggunakan metode pembersihan permukaan secara manual. Metode penelitian yang dipakai adalah *Research and Development* (R & D) dengan model *Experimental Development* (Pengembangan Eksperimental), Borg & Gall. Hasil yang didapatkan dari pengujian mesin *sandblasting* menggunakan pasir silika berukuran 80 *mesh* dan 100 *mesh* menggunakan udara bertekanan 6 bar dengan kecepatan aliran udara sekitar 903.5 m/s, penggunaan pasir berukuran 80 *mesh* waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan permukaan *specimen* adalah 15.07s, 14.89s, 15.02s. Sedangkan pada pengujian kedua dengan penggunaan pasir berukuran 100 *mesh* waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan permukaan *specimen* adalah 13.13s, 13.22s, 13.10s. waktu tercepat yang diperoleh adalah 13,10s menggunakan pasir berukuran 80 *mesh*, dibandingkan menggunakan pasir berukuran 100 *mesh* dengan sama-sama menggunakan tekanan 6 bar.

Kata kunci: Abrasif, lapisan, permukaan logam, *predegreasing*, *sandblasting*.

Abstract: This study aims to analyze the effect of different sand grain sizes on the duration of the sandblasting process and to examine the testing method of a sandblasting machine using a compressor with an air pressure of 6 bar. The issue with the pre-degreasing method used by some people is that it still relies on manual surface cleaning techniques. The research method employed is Research and Development (R&D) with the Experimental Development model by Borg & Gall. The results obtained from testing the sandblasting machine using silica sand with sizes of 80 mesh and 100 mesh, under 6 bar air pressure and an airflow speed of approximately 903.5 m/s, showed that using 80-mesh sand, the time required to clean the specimen surface was 15.07s, 14.89s, and 15.02s. Meanwhile, in the second test using 100-mesh sand, the required time was 13.13s, 13.22s, and 13.10s. The fastest recorded time was 13.10s using 80-mesh sand, compared to using 100-mesh sand, both under the same 6-bar pressure.

Keywords: Abrasive, coating, metal surface, *predegreasing*, *sandblasting*.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Coating atau pelapisan adalah teknik yang bertujuan untuk menutupi permukaan suatu material, baik untuk keperluan estetika, perlindungan, maupun fungsi lainnya. Secara umum, *Coating* atau pelapisan adalah suatu metode atau teknik untuk menutupi permukaan substrat dengan tujuan untuk dekoratif, proteksi dan tujuan-tujuan lainnya (Permenaker No 9, 2016). Proses pelapisan terdiri dari beberapa tahap, seperti persiapan permukaan, serta pembersihan alat dan area yang digunakan dalam proses tersebut. Daya rekat atau *adhesi* lapisan cat terhadap permukaan sangat bergantung pada kebersihan permukaan sebelum pelapisan dilakukan. Permukaan yang bersih akan meningkatkan kualitas *adhesi* antara cat dan benda yang dilapisi.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam pelepasan atau pembersihan permukaan yang umum digunakan antara lain *Blast Cleaning*, *Chemical Cleaning*, *Manual Cleaning* (Sihombing, 2020). Salah satu teknologi yang digunakan dalam metode *blast cleaning* adalah mesin *Sandblaster*, yang mempermudah dan mempercepat pembersihan permukaan logam. Proses ini dikenal sebagai *sandblasting*. Keunggulan metode ini adalah kecepatan pengerjaan serta kemampuannya menyesuaikan dengan bentuk benda kerja yang kompleks dan memiliki banyak lekukan.

Sandblasting adalah teknik yang digunakan untuk menghilangkan berbagai kontaminan, seperti minyak, karat, cat, garam, dan oli, dengan cara menembakkan material abrasif, umumnya pasir, dengan tekanan tinggi. Dalam industri modern, metode *blast cleaning*

banyak diterapkan karena mudah digunakan dan tidak memerlukan banyak bahan kimia berbahaya bagi kesehatan mesin *sandblaster* merupakan salah satu inovasi teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan mempercepat pekerjaan manusia.

Dalam proses *sandblasting*, udara bertekanan dari kompresor dialirkan melalui dua pipa, satu menuju tabung pasir dan satu lagi langsung ke *nozzle*. Teknik ini bekerja dengan menyemprotkan material abrasif, seperti pasir silika atau *steel grit*, menggunakan tekanan tinggi ke permukaan benda, sehingga kotoran seperti karat, cat, garam, dan oli dapat dihilangkan dengan lebih efektif.

DASAR TEORI

Persiapan Permukaan

Persiapan permukaan merupakan elemen penting dalam proses pengecatan. Persiapan permukaan yang tepat menjamin kualitas cat terbaik. Selain menggunakan cat untuk melapisi permukaan, ada juga beberapa individu yang menghilangkan atau membersihkan pelapis dari permukaan tersebut karena bosan atau warna yang terlalu monoton. Di zaman yang sudah modern ini, ada beberapa cara-cara yang dilakukan untuk menghilangkan cat atau pelapis diantaranya sebagai berikut:

a) Teknik Pembakaran

Teknik ini biasanya dilakukan pada benda logam yang besar, paling sering digunakan pada pengerjaan *body* mobil maupun sepeda, penggunaan teknik ini juga *relative* lebih singkat saat waktu pengerjaan.

b) Teknik Gerinda

Cara menghilangkan cat menggunakan gerinda masih sangat sering ditemui, teknik ini masih dianggap kurang efektif karena membutuhkan waktu yang lebih lama apalagi dengan benda yang tidak rata atau berkelok-kelok.

c) Teknik Pemanasan Menggunakan Hot Gun

Hot Gun merupakan alat yang digunakan untuk memancarkan udara panas, biasanya berbentuk seperti pistol. Berfungsi untuk memanaskan sesuatu. Aliran udara panas yang dihasilkan oleh *Hot gun* atau *heat gun* dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mengeringkan, mengencangkan benda.

d) Teknik Cairan Kimia (Remover)

Pada teknik ini, kita cukup mengoleskan cairan kimia (*remover*) ke seluruh bagian bodi dan menunggu beberapa menit. Setelah itu, kita bisa membersihkannya dengan *scrub*. Proses ini juga cukup cepat dan praktis, karena bodi plat akan tetap aman tanpa adanya pemanasan atau penggunaan gerinda yang berisiko merusak plat bodi asli.

e) Teknik *vaporblasting*

Vapourblasting adalah metode pembersihan yang menggunakan bahan berupa air, angin bertekanan dan *glass beads* untuk membersihkan karat dan kotoran yang menempel di permukaan logam. Alat *vapourblasting* merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses pembersihan (Budiman, 2017). *Vaporblasting* merupakan *inishing* logam, sama halnya dengan pemolesan, *anodisasi*, atau *coating*. Pada praktiknya

ssssVaporblasting dapat membersihkan dan menyebabkan logam atau substrat yang menjadi dasar tanpa melepasnya. *Vapourblasting* merupakan salah satu alat yang memudahkan pekerja untuk membersihkan permukaan besi dari karatan, endapan oli dan kerak pada mesin motor (Suastika, 2023).

f) Teknik Sandblasting

Teknik *sandblasting* merupakan salah satu *blast cleaning*, dengan mengandalkan udara bertekanan tinggi yang dikombinasikan dengan material *abrasive* yang kemudian ditembakkan pada permukaan benda logam yang akan dibersihkan. Teknik ini juga menjadi salah satu teknik pembersihan yang *relative* lebih cepat dibandingkan dengan proses pembersihan lainnya.

Sandblasting



Gambar 1. Proses Sandblasting

Sandblasting adalah proses penyemprotan material dengan bahan abrasif, biasanya berupa pasir silika atau *steel grit* dengan tekanan tinggi pada suatu permukaan dengan tujuan untuk menghilangkan material seperti karat, cat, garam, dan oli yang menempel (Nurlaila & Wahyudin, 2021). Dengan menggunakan partikel abrasif bertekanan tinggi, proses ini mampu menghilangkan kotoran, karat, dan lapisan cat yang paling sulit sekalipun. Hasil akhir yang diperoleh sangat bervariasi, mulai dari permukaan yang sangat halus hingga kasar, tergantung pada jenis dan ukuran partikel abrasif yang digunakan. Fleksibilitas inilah yang menjadikan sandblasting sebagai salah satu teknik pembersihan permukaan yang paling populer di berbagai *industry*.

Metode *sandblasting* sering digunakan untuk membersihkan serta mempersiapkan permukaan logam agar memiliki karakteristik tertentu atau menjadi lebih halus, sehingga bahan pelapis seperti cat dapat menempel dengan kuat. Proses ini menggunakan udara bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor, kemudian dialirkan melalui dua selang—satu menuju tabung pasir, sementara yang lainnya mengarah ke *nozzle* tempat bahan abrasif disemprotkan ke permukaan material (Ekin Saputra et al., 2023).

Komponen-komponen Sandblasting

Adapun komponen-komponen yang digunakan pada proses perakitan mesin *sandblasting* terdiri dari:

a) mesin *compressor*

kompresor memiliki fungsi yang sangat penting dan

menjadi komponen utama dari mesin *sandblaster* yaitu sebagai sumber udara bertekanan yang dibutuhkan pada mesin *sandblaster* sebelum disalurkan ke selang angin dan *spray*.

b) *Blast pot*

Blast pot merupakan penampungan pasir *abrasive* sebelum disalurkan keluar bersama dengan angin bertekanan tinggi melalui selang angin dan *nozzle*.

c) selang angin

digunakan sebagai penyaluran udara dari kompresor ke *sandblasting gun* sebelum dikeluarkan bersamaan dengan pasir *blasting*.

d) *Nozzle*

Nozzle adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengontrol atau membentuk aliran fluida, seperti air atau udara.

e) Pelindung pernapasan

Pelindung pernapasan digunakan untuk menutupi bagian pernapasan terutama hidung dan mulut, sebagai pelindung dari sisa-sisa partikel dari proses *abrasive* yang dihasilkan dari proses *sandblasting*.

Material Abrasif

Material abrasif 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* (Ishaka et al., 2021). Proses *sandblasting* menggunakan material abrasif yang beragam, mulai dari pasir silika alami hingga material buatan seperti steel grit. Material-material ini memiliki tingkat kekerasan dan ukuran partikel yang berbeda-beda. Ketika ditembakkan dengan tekanan tinggi, partikel abrasif akan mengikis permukaan benda kerja, menghilangkan kotoran, karat, atau lapisan cat. Pemilihan jenis dan ukuran partikel abrasif sangat penting untuk mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan kebutuhan.

Tekanan udara

Kompresor merupakan komponen utama yang berperan sebagai sumber tenaga dalam pengoperasian mesin *sandblaster*. Alat ini berfungsi untuk mengompresi udara atau gas serta meningkatkan tekanannya hingga mencapai 101.325 kPa dengan volume gas yang besar. Secara umum, kompresor udara bekerja dengan menyedot udara atau gas yang memiliki tekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer (Setiawan & Riyanto, 2019).

Salah satu metode yang paling efektif untuk mengevaluasi kinerja kompresor adalah dengan mengukur secara langsung daya input (kW) serta kapasitas aliran udara bertekanan (m^3/min). Efisiensi kompresor, yang dikenal sebagai *Specific Power Consumption* (SPC), dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Permana, 2021):

$$\text{SPC} = \frac{p}{q} \quad (1)$$

Dimana:

SPC = ($\text{kW}/\text{m}^3/\text{min}$)

p = Power/Daya (kW)

q = Laju aliran volume udara (m^3/min)

Sebelum menghitung nilai SPC, terdapat beberapa parameter yang perlu ditentukan terlebih dahulu, salah satunya adalah kecepatan aliran udara. Kecepatan aliran udara ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Bernoulli*:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}} \quad (2)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran udara

P_s = Tekanan Total

P_t = Tekanan Statis

ρ = Densitas Udara

Untuk pipa berbentuk lingkaran, luas penampang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Dalam hal ini, r merupakan jari-jari dari pipa atau selang, sedangkan ddd adalah diameternya. Sementara itu, untuk menentukan nilai q (laju aliran volume udara), dapat digunakan persamaan berikut:

$$q = A \times v \quad (4)$$

Dimana:

q = laju aliran volume udara (m^3/s)

A = luas penampang saluran (m^2)

v = kecepatan aliran udara (m/s)

Pada penelitian ini kompresor yang digunakan memiliki power 0.75 hp dengan tekanan maksimal udara yang bisa digunakan sebesar 8 bar.

METODE

Pada penelitian ini Jenis penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R & D) dengan model *Experimental Development* (Pengembangan Eksperimental), Borg & Gall (1983) menyatakan bahwa penelitian eksperimen merupakan penelitian yang paling dapat diandalkan keilmiahannya (paling valid), karena dilakukan dengan pengontrolan secara ketat terhadap variabel-variabel pengganggu di luar yang dieksperimenkan (Weriana Rahmatullah Akbar & usdy A Sidorj, 2023).

R&D *Experimental Development* atau Pengembangan Eksperimental adalah salah satu jenis kegiatan penelitian dan pengembangan (R&D) yang bertujuan untuk menciptakan atau menyempurnakan produk, proses, atau sistem baru melalui eksperimen dan uji coba. *Experimental research* ialah penelitian yang bersifat sistematis, teliti, dan logis (Weriana Rahmatullah Akbar & usdy A Sidorj, 2023). Berikut ini dadalah langkah-langkah pengujian *portable*

sandblasting machine:

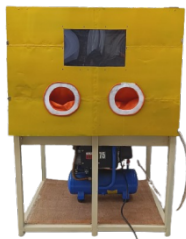
1. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini melibatkan berbagai alat dan bahan untuk pengujian *portable sandblasting machine*. Untuk pengujian *portable sandblasting machine*, alat yang digunakan adalah *Pressure gauge* yang digunakan untuk mengukur dan membatasi tekanan udara yang diperlukan saat proses *sandblasting*, dan *thickness gauge* yang digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan sebelum dan sesudah proses *sandblasting*. Selain itu, stopwatch juga digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan saat proses *sandblasting*.

Dalam pengujian alat yang digunakan meliputi *portable sandblasting machine* dengan kompresor 0.75 hp, *Sandblasting gun*, *thickness gauge* untuk mengukur ketebalan lapisan, dan stopwatch untuk mencatat waktu proses *sandblasting*.

2. Metode Pengujian

- Persiapan Alat dan Bahan, Siapkan *portable sandblasting machine*, *thickness gauge*, stopwatch, dan spesimen pengujian.
- Menyalakan kompresor dan mengatur *Pressure gauge* menjadi 6 bar, pengisian pasir silika pada *Sandblasting gun*.
- Pengukuran ketebalan lapisan pada spesimen sebelum proses *sandblasting* spesimen pengujian.
- Proses *sandblasting* dan Pencatatan Data: Catat waktu yang dibutuhkan untuk proses *sandblasting* spesimen.



Gambar 2. portable sandblasting machine

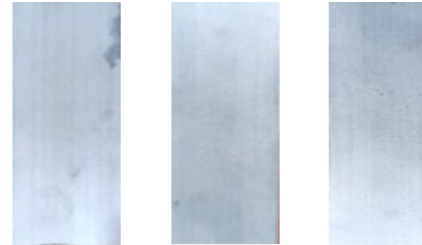
Gambar ini menunjukkan tampilan dari *portable sandblasting machine* untuk material logam. Gambar ini mencakup komponen-komponen utama seperti ruang *Blasting*, Kompresor, dan komponen pendukung lainnya. *portable sandblasting machine* ini dirancang supaya mesin bisa dimaksimalkan pada penyimpanan ruangan yang tidak terlalu besar, karena mesin ini lebih mudah untuk dibongkar pasang.

Pengujian mesin dilakukan dengan cara menyemprotkan kombinasi antara pasir dan angin bertekanan yang bersumber dari kompresor. Pengujian pertama dilakukan menggunakan pasir berukuran 80 mesh dan udara bertekanan 6 bar. Pengujian kedua dilakukan menggunakan pasir berukuran 100 mesh dan udara bertekanan 6 bar. Proses penyemprotan pada kedua pengujian dilakukan dengan pola penyemprotan yang sama yaitu berpolah langkah huruf S dimulai dari titik kanan atas sampai titik kiri bawah.

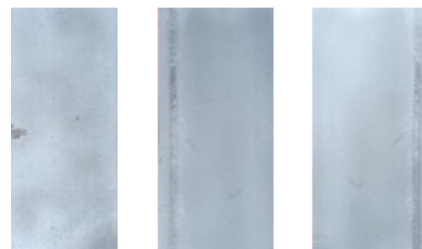
Berikut dokumentasi hasil pengujian penggunaan pasir berukuran 80 mesh dan 100 mesh dengan tekanan dan perlakuan yang sama:



Gambar 3. Spesimen sebelum proses sandblasting



Gambar 4. Spesimen setelah proses blasting (80 mesh)



Gambar 5. spesimen setelah proses blasting (100 mesh)

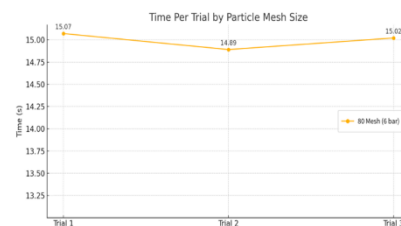
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengambilan data, pembahasan dan perhitungan kinerja kompresor 0,75 hp yang digunakan pada *portable sandblasting machine*.

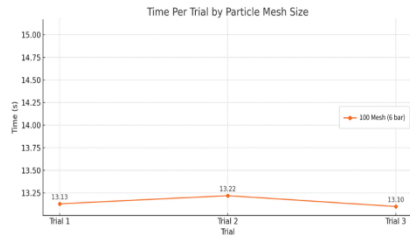
HASIL

Data yang didapat dari hasil proses *sandblasting* pada *specimen* dan menggunakan udara bertekanan 6 bar dengan kecepatan aliran udara sekitar 903.5 m/s pada semua pengujian, penggunaan pasir berukuran 80 mesh waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan permukaan *specimen* adalah 15.07s, 14.89s, 15.02s. Sedangkan pada pengujian kedua dengan penggunaan pasir berukuran 100 mesh waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan permukaan *specimen* adalah 13.13s, 13.22s, 13.10s.

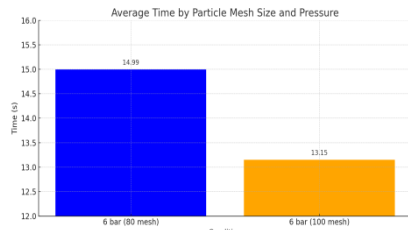
Nilai rata-rata yang dapat diambil pada pengujian menggunakan pasir berukuran 80 mesh adalah 14.99s dan nilai rata-rata pada pengujian menggunakan pasir berukuran 100 mesh adalah 13.15s.



Gambar 6. Grafik pengujian mesh 80



Gambar 7. Grafik pengujian mesh 100



Gambar 8. Rata-rata waktu percobaan mesh 80 dan 100

PEMBAHASAN

Mengacu pada referensi terdahulu, berbagai penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya seperti Pada penelitian terdahulu yang berjudul “Perancangan Alat *sandblasting* untuk diaplikasikan pada komponen plat besi sebagai penghilang karat” yang ditulis oleh (Ekin Saputra et al., 2023) menyebutkan bahwa spesifikasi *compressor* berpengaruh kepada hasil dan kinerja saat proses *sandblasting*, yaitu semakin besar tekanan udara yang dikeluarkan maka akan semakin maksimal dan semakin cepat proses *sandblasting*. Sedangkan menurut (Kurniawan & Periyanto, 2019) pada penelitiannya yang berjudul “Proses *Sandblasting* dan *Coating* Pada Kapal di PT. Dok Perkapalan Surabaya” tekanan udara dan ukuran pasir mempengaruhi tingkat kekerasan permukaan metal setelah proses *sandblasting*.

PERHITUNGAN

Kinerja kompresor

Kinerja kompresor lebih umum dikenal sebagai *Specific Power Consumption* (SPC), untuk menentukan konsumsi daya spesifik atau kinerja kompresor, dapat dilakukan dengan mengukur secara langsung daya input (kW) serta kapasitas aliran udara bertekanan (m³/min).

SPC pada kompresor yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan (4). Namun, sebelum menentukan nilai SPC dengan persamaan (1), terdapat beberapa parameter yang perlu dihitung terlebih dahulu, salah satunya adalah kecepatan aliran udara yang diperoleh melalui persamaan (1). Nilai v dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Bernoulli yang telah dimodifikasi, seperti persamaan berikut:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

Dengan asumsi tekanan keluar adalah atmosferik (sekitar 1 bar), sehingga $p_2 = 1$ bar dan $p_1 = 6$ bar

Diketahui :

$$P_s : 1 \text{ bar}(100.000 \text{ Pa})$$

$$P_t : 6 \text{ bar}(600.000 \text{ Pa})$$

$$\rho : 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(600.000 - 100.00)}{1.225}}$$

$$v \approx \sqrt{\frac{1000.000}{1.225}}$$

$$= \sqrt{816,326}$$

$$\approx 903.5 \text{ m/s}$$

Untuk pipa berbentuk lingkaran, luas penampang dapat dihitung menggunakan persamaan (2):

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Dimana r adalah jari-jari pipa atau selang, dan d adalah diameter pipa atau selang.

Diketahui :

$$d = 8 \text{ mm}(0,8 \text{ cm})$$

$$\pi = 3,14$$

Maka :

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi(8)^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times 64}{4}$$

$$\approx \frac{200,96}{4}$$

$$\approx 50,24 \text{ m}^2$$

Maka nilai q dapat dihitung menggunakan persamaan (3):

$$q = A \times v$$

$$= 50,24 \times 903.5$$

$$= 45366(\text{m}^3/\text{s})$$

Dan nilai SPC pada kompresor yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7579001>

$$SPC = \frac{0,5}{45,365} = 0,00002 \text{ kW/m}^3/\text{min}$$

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan *portable sandblasting machine* menggunakan tekanan 6 bar terkait dengan pengaruh ukuran mesh pasir terhadap pengujian sandblasting pada spesiemen dapat ditarik kesimpulan yaitu variasi ukuran *mesh* yang digunakan (80 dan 100) diperoleh waktu tercepat 13.10s dengan pasir berukuran 100 *mesh*. Maka ukuran pasir menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi lamanya proses *sandblasting*.

REFERENSI

1. Budiman, h. (2017). Peran teknologi informasi dan komunikasi dalam pendidikan. *Al-tadzkiyyah: jurnal pendidikan islam*, 8(1), 31–43.
2. Ekin saputra, w. K., anjani, r. D., & santoso, a. (2023). Perancangan alat *sandblasting* untuk diaplikasikan pada komponen plat besi sebagai penghilang karat. *Jurnal serambi engineering*, 8(4). <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6911>
3. Ishaka, f., santoso, t. D., & pohan, g. A. (2021). Pengaruh ukuran pasir pada perlakuan *sandblasting* yang memanfaatkan pasir besi terhadap *wettability* baja tahan karat 316l. 1.
4. Kurniawan, w. D., & periyanto, p. (2019). Proses *sandblasting* dan *coating* pada kapal di pt. Dok perkapalan surabaya. *Otopro*, 13(2), 44. <https://doi.org/10.26740/otopro.v13n2.p44-53>
5. Nurlaila, q., & wahyudin, m. D. (2021). Peningkatan produktivitas mesin *sanblasting* dengan mengubah setting parameter pada mesin. *Sigma teknika*, 4(1), 115–123. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v4i1.3053>
6. Permana, d. S. (2021). Analisis kinerja sistim kompresor udara di jalur produksi pt.x melalui audit energi. *Jurnal teknik mesin*, 10(2), 91. <https://doi.org/10.22441/jtm.v10i2.11893>
7. Permenaker no 9. (2016). Peraturan menteri ketenagakerjaan no. 9 tahun 2016 tentang keselamatan dan kesehatan kerja dalam pekerjaan di ketinggian.
8. Setiawan, m. A., & riyanto, i. (2019). Sistem kendali tekanan udara pada kompresor dengan pengaturan kecepatan motor 3 fasa. 2(1).
9. Sihombing, n. (2020). Analisa temperatur optimal pada proses pelepasan daya rekat *coating epoxy* dan plastik di permukaan beton/semen dengan metode induksi panas. *Jurnal teknik mesin*, 8(2), 86. <https://doi.org/10.22441/jtm.v8i2.4775>
10. Suastika, i. K. (2023). Rancang bangun alat *vapour blasting* dengan kapasitas volume 1 m³. https://repository.pnb.ac.id/8236/2/rama_21401_2015213049_0012047205_0002055908_part.pdf
11. Weriana rahmatullah akbar, & usdy a sitorj. (2023). *Experimental reseacrch dalam metodologi pendidikan*.