



Pengaruh Variasi Diameter *Nozzle* pada *Gun Wet Blasting* Terhadap Tekanan dan Kecepatan Aliran

The Influence of Nozzle Diameter Variations in Wet Blasting Guns on Working Pressure and Flow Velocity

Albim Cikal¹, Aan Burhanudin^{1*}, Althesa Androva¹

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas teknik Dan Informatika Universitas PGRI Semarang, Indonesia

*Corresponding author

E-mail: aanburhanudin@upgris.ac.id

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Diameter Nozzle;
Kecepatan Aliran;
Tekanan 1 HP;
Sistem Injeksi;
Wet Blasting
Keywords:
1 Hp of pressure
Flow Velocity
Injection System
Nozzle Diameter
Wet Blasting

Received: 10 Mei 2026
Revised: 17 Juni 2026
Online published: 30 Juni 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengatasi kendala tingginya konsumsi udara pada mesin *wet blasting* sistem *suction* standar industri (min. 5 HP) yang tidak terjangkau bagi UMKM dengan kompresor 1 HP. Solusi yang ditawarkan adalah modifikasi menjadi sistem injeksi (*pressure fed*) dengan pemisahan beban energi: pompa celup 370-watt untuk transportasi media (*slurry*) dan tekanan 1 HP khusus untuk akselerasi fluida. Metode eksperimen rancang bangun digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter *output nozzle* (4.5 mm, 5 mm, 6 mm, dan 7 mm) terhadap tekanan kerja dan kecepatan aliran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengecilan diameter *nozzle* secara signifikan meningkatkan kecepatan aliran sesuai hukum kontinuitas, namun meningkatkan hambatan balik (*back pressure*). Diameter 5 mm diidentifikasi sebagai titik optimal (*equilibrium*) yang menghasilkan kecepatan pembersihan efektif dengan tekanan stabil pada kompresor 1 HP. Inovasi ini membuktikan bahwa sistem injeksi mampu mensubstitusi keterbatasan daya udara, sehingga proses *wet blasting* dapat dioperasikan secara ekonomis pada infrastruktur bengkel kecil.

ABSTRACT

A This study aims to address the high compressed air consumption of industrial-standard suction-system wet blasting machines (min. 5 HP), which is often inaccessible for MSMEs operating with 1 HP compressors. The proposed solution is a modification into an injection system (pressure-fed) by separating the energy load: a 370-watt submersible pump for slurry transport and a 1 HP of pressure dedicated solely to fluid acceleration. A design-and-build experimental method was used to analyses the influence of various ceramic output nozzle diameters (4.5 mm, 5 mm, 6 mm, and 7 mm) on working pressure and flow velocity. The results indicate that reducing the nozzle diameter significantly increases flow velocity in accordance with the law of continuity, though it also increases back pressure. The 5 mm diameter was identified as the optimal point (equilibrium), providing effective cleaning velocity while maintaining stable pressure on a 1 HP compressor. This injection system innovation proves capable of substituting for limited air power, allowing the wet blasting process to operate economically using small-scale workshop infrastructure.

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri manufaktur dan otomotif, proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) memegang peranan vital untuk tujuan pembersihan, persiapan pengecatan, maupun peningkatan kualitas visual komponen [1,2] Salah satu metode yang dinilai paling efektif saat ini adalah *wet blasting* (atau *vapor blasting*). Berbeda dengan *sandblasting* kering, metode ini menawarkan keunggulan berupa kemampuan meredam panas, meminimalisir deformasi pada permukaan material lunak, serta menghasilkan permukaan akhir yang lebih halus dan presisi [3,4]. Sinergi antara air, media abrasif, dan udara bertekanan mampu membersihkan kerak karbon dan karat secara mendalam tanpa merusak dimensi komponen, menjadikannya pilihan utama dalam proses restorasi komponen otomotif [5,6].

Namun, penerapan teknologi ini secara luas, khususnya pada skala Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), terkendala oleh tingginya kebutuhan konsumsi udara yang disyaratkan oleh standar industri [7,8]. Mesin *wet blasting* konvensional pada

umumnya menggunakan sistem hisap (*suction/venturi system*), yang membutuhkan kompresor dengan kapasitas debit udara besar (minimal 5 HP) untuk menciptakan kevakuman yang memadai [9,10]. Persyaratan operasional ini menjadi hambatan signifikan bagi UMKM bengkel skala kecil yang rata-rata hanya memiliki kompresor torak berdaya 1 HP [11]. Apabila kompresor berdaya rendah tersebut dipaksakan beroperasi pada sistem *suction*, energi kinetik yang dihasilkan tidak akan mampu mengangkat fluida campuran (*slurry*) secara konsisten, sehingga memicu aliran terputus-putus (*surgings* atau *slug flow*) dan penyumbatan pada jalur distribusi *nozzle* [12].

Untuk mengatasi keterbatasan debit udara tersebut, diperlukan rekayasa mekanisme penyuplaian media dari sistem pasif (hisap) menjadi sistem aktif (injeksi atau *pressure fed*) dengan memanfaatkan pompa eksternal [13]. Melalui modifikasi ini, aliran fluida disuplai secara konstan oleh pompa hidrolis, sehingga beban kerja kompresor dapat direduksi dan energi angin dapat difokuskan murni untuk proses pengabutan (*atomization*) guna memberikan dorongan kinetik tambahan pada partikel [14].

Meskipun sistem injeksi terbukti menjamin kelancaran sirkulasi *slurry*, tantangan krusial berikutnya pada penggunaan kompresor 1 HP adalah manajemen suplai udara yang sangat terbatas. Pada sistem mekanika fluida, diameter lubang keluaran (*output nozzle*) memiliki korelasi langsung terhadap kestabilan tekanan kerja dan tingkat kecepatan aliran sesuai dengan prinsip kontinuitas [15,16]. Apabila diameter *nozzle* terlalu besar, aliran udara yang keluar akan melampaui kapasitas suplai kompresor, menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang drastis. Sebaliknya, jika diameter dibuat terlalu kecil, area jangkauan penyemprotan akan menjadi sangat sempit dan tidak efektif untuk produktivitas kerja.

Berdasarkan kesenjangan teknis tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran diameter *output nozzle* berbahan keramik (ukuran 4,5 mm, 5 mm, 6 mm, dan 7 mm) terhadap tekanan kerja dan kecepatan keluaran fluida pada modifikasi alat *wet blasting* sistem injeksi bertekanan 1 HP. Eksperimen ini bertujuan untuk menemukan titik keseimbangan optimal (*equilibrium*), sehingga mesin dapat menghasilkan tingkat efektivitas pembersihan (*cleaning rate*) terbaik tanpa membebani infrastruktur daya kompresor berskala kecil [13].

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan adalah *gun wet blasting* hasil rancang bangun dengan variasi *nozzle* ceramic ukuran 4,5, 5, 6, dan 7 mm.

2.2. Metode

Penelitian menggunakan metode eksperimental dilakukan melalui rancang bangun sistem *wet blasting* injeksi bertekanan 1 HP dan pompa submersible 370-watt. Data diperoleh melalui variasi diameter *output nozzle* (4,5; 5; 6; dan 7 mm) dengan parameter kontrol tetap pada tekanan *input* 4 Bar dan jarak semprot 5 cm. Instrumen manometer digunakan untuk memantau fluktuasi tekanan kerja, sementara kecepatan aliran ditentukan melalui metode volumetrik dengan durasi sampling 5 detik per variasi tiga kali pengulangan [13]. Analisis data menggunakan persamaan kontinuitas $v = \frac{Q}{A}$ untuk mengevaluasi korelasi antara dimensi *nozzle*, hambatan balik (*back pressure*), dan kecepatan aliran guna menentukan titik keseimbangan (*equilibrium*) operasional yang paling efisien [1,10].

2.3. Pengujian

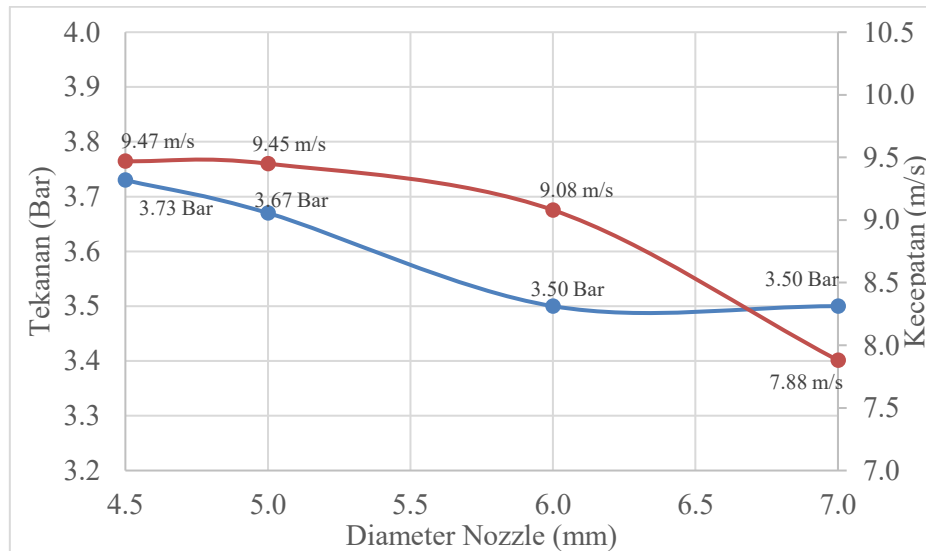
Pengujian Karakteristik performa sistem dianalisis melalui pengujian parameter mekanika fluida. Tekanan kerja aktual (*working pressure*) diukur menggunakan manometer analog (rentang 0–10 Bar) yang terpasang pada *mixing chamber* untuk memantau stabilitas tekanan dan *back pressure* pada kompresor 1 HP [11,14]. Kecepatan aliran ditentukan melalui metode volumetrik menggunakan gelas ukur 1000 ml dan *stopwatch* digital (ketelitian 0,01 s) [6]. Pengujian dilakukan dengan durasi sampling 5 detik per variasi diameter *nozzle* (4,5; 5; 6; dan 7 mm). Data debit aktual (Q) kemudian dihitung menggunakan Persamaan Kontinuitas untuk mendapatkan nilai kecepatan (v). Efektivitas pembersihan (*cleaning rate*) diukur secara visual pada spesimen aluminium dengan jarak semprot konstan 50 mm, menggunakan jangka sorong digital untuk menentukan luasan area bersih (mm²/s) [15]. Seluruh pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (triplo) untuk menjamin akurasi data [13].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian performa sistem *wet blasting* dengan variasi diameter *nozzle* menunjukkan perbedaan nilai tekanan dan kecepatan aliran yang signifikan. Nilai rata-rata kecepatan aliran (v) tertinggi sebesar 9,47 m/s diperoleh pada *nozzle* 4,5 mm, diikuti

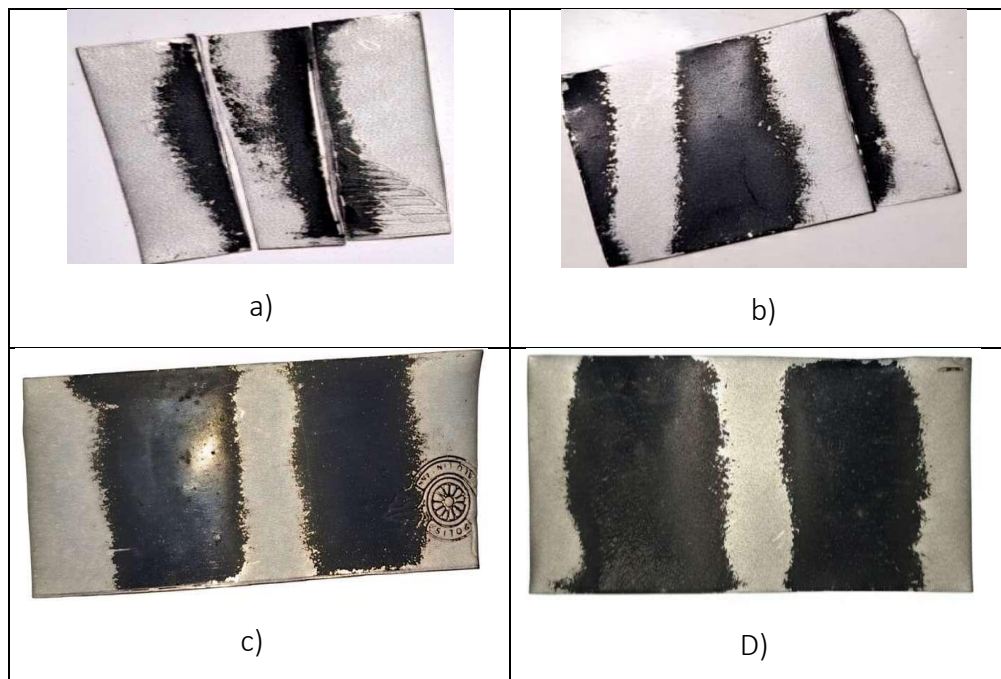
nozzle 5 mm sebesar 9,45 m/s, *nozzle* 6 mm sebesar 9,32 m/s, dan *nozzle* 7 mm sebesar 9,20 m/s. Sebaliknya, tekanan kerja stabil tertinggi berada pada *nozzle* 4,5 mm (3,70 Bar) dan menurun hingga 3,50 Bar pada *nozzle* 7 mm. injeksi.

Perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh karakteristik geometri lubang keluar terhadap kapasitas suplai udara kompresor 1 HP. *Nozzle* diameter kecil (4,5 mm dan 5 mm) menghasilkan kecepatan tinggi dan tekanan stabil karena debit udara yang dikeluarkan masih berada di bawah kapasitas *Free Air Delivery* (FAD) kompresor, sehingga energi kinetik terfokus optimal. Sementara itu, *nozzle* diameter besar (6 mm dan 7 mm) menyebabkan tekanan *drop* drastis karena konsumsi udara melampaui kemampuan pengisian tangki kompresor, yang mengakibatkan penurunan momentum tumbukan partikel.



Gambar 1. Pengaruh diameter *nozzle* terhadap tekanan dan kecepatan.

Gambar 1 menunjukkan bahwa diameter *nozzle* 4,5 mm menghasilkan kecepatan aliran tertinggi 9,47 m/s dengan tekanan 3,70 Bar. Namun, pada diameter 5 mm dicapai titik optimal (*equilibrium*) dengan kecepatan 9,45 m/s dan tekanan 3,67 Bar yang memberikan luasan pembersihan lebih produktif. Hal ini membuktikan bahwa variasi diameter *nozzle* secara langsung memengaruhi efisiensi termodinamika dan kinerja mekanis pada sistem *wet blasting* bertenaga rendah.



Gambar 2. Hasil visual permukaan spesimen setelah pengujian *wet blasting* dengan perbedaan ukuran *nozzle*; a) 4,5 mm, b) 5 mm, c) 6mm dan d) 7mm.

Gambar 2 menunjukkan bahwa perbedaan ukuran *nozzle* memiliki efektivitas berbeda pada pembersihan permukaan material. Gambar 2(a dan b) menunjukkan pembersihan yang efektif pada penggunaan ukuran *nozzle* 4,5 dan 5 mm. Namun peningkatan ukuran *nozzle* menjadi 6 dan 7 mm, menunjukkan penurunan efektivitas yang terlihat warna hitam masih terdistribusi lebih banyak pada permukaan material pada gambar 2(c dan d) dibandingkan dengan penggunaan *nozzle* berukuran 4.5 dan 5 mm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa variasi diameter *output nozzle* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik tekanan kerja dan kecepatan aliran pada sistem *wet blasting*. Pengecilan diameter *nozzle* terbukti meningkatkan kecepatan aliran sesuai dengan hukum kontinuitas, namun berisiko meningkatkan hambatan balik (*back pressure*) yang membebani kompresor berdaya rendah.

Data penelitian menunjukkan bahwa *nozzle* diameter 4,5 mm menghasilkan kecepatan aliran tertinggi sebesar 9,47 m/s dengan tekanan 3,70 Bar, namun memiliki jangkauan area semprot yang terbatas. Sebaliknya, *nozzle* diameter 7 mm menghasilkan tekanan kerja terendah (3,50 Bar) akibat konsumsi udara yang melebihi kapasitas suplai kompresor.

Sebagai titik optimal (*equilibrium*), Nozzle diameter 5 mm ditetapkan sebagai spesifikasi terbaik (*best practice*) untuk infrastruktur pada tekanan 1 HP. Variasi ini mampu mempertahankan kecepatan tinggi di angka 9,45 m/s dengan stabilitas tekanan 3,67 Bar, serta memberikan laju pembersihan (*cleaning rate*) yang paling efisien sebesar 48 mm²/detik. Dengan demikian, modifikasi sistem injeksi ini terbukti efektif sebagai solusi operasional *wet blasting* yang ekonomis dan stabil untuk skala bengkel kecil atau UMKM.

Referensi

- [1] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [2] Clemco Industries, *Industrial Blast Facilities: Planning and Setup Guide*. Washington: Clemco Industries Corp., 2017.
- [3] C. M. Cotell, J. A. Sprague, and F. A. Smidt, *ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering*. Materials Park, OH: ASM International, 1994.
- [4] Graco Inc., *EcoQuip® Vapor Abrasive Blast Equipment: Instructions and Parts*. Minneapolis: Graco Inc., 2020.
- [5] Grundfos, *The Centrifugal Pump: Design and Application*. Denmark: Grundfos Management A/S, 2013.
- [6] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 9th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [7] T. Hidayat and S. Rochmoeljati, "Rancang Bangun Mesin Sandblasting Menggunakan Sistem Suction untuk Skala Bengkel Kecil," *Jurnal Rekayasa Mesin*, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, 2019.
- [8] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th ed. Singapore: Pearson Education, 2014.
- [9] L. Machinery, *Imola-125 Air Compressor Technical Data Sheet*. Jakarta: Lakoni Indonesia, 2023.
- [10] B. R. Munson, T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, and A. P. Rothmayer, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 7th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [11] A. Parr, *Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide*, 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2011.
- [12] P. I. Purboputro, "Pengaruh Waktu dan Sudut Penyemprotan pada Proses Sand Blasting Terhadap Kekasaran Permukaan Logam," *Momentum: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Universitas Wahid Hasyim Semarang, 2016.
- [13] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [14] Sularso dan H. Tahara, *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2004.
- [15] A. Syahrani dan Naharuddin, "Analisis Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Laju Pengerjaan (Cleaning Rate) pada Mesin Sand Blasting," *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Tadulako, 2018.
- [16] Taizhou Tsurumi Pump Co., Ltd., *Technical Datasheet SPV Series Submersible Sewage Pump*. Taizhou: Tsurumi Pump, 2024.