

Efektifitas *Abrasive Water Jet Machine* pada Proses Restorasi Komponen Otomotif

Ragil Tri Indrawati^{1*}, Carli¹, Trio Setiyawan¹, Eni Safriana¹, Farika Tono Putri², Ali Sai'in¹

¹Diploma 3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

²Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

*E-mail: ragil.tri@polines.ac.id

Diajukan: 12-07-2022; Diterima: 02-08-2022; Diterbitkan: 22-08-2022

Abstrak

Remanufacturing cleaning technology merupakan metode pembersihan dan penghilangan kotoran yang menempel pada permukaan material menggunakan mesin sebagai alat bantu maupun larutan kimia. Salah satu metode yang dikembangkan untuk pembersihan dan penghilangan kotoran pada permukaan material ialah *Abrasive Water Jet* (AWJ). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektifitas dari mesin AWJ pada proses restorasi/pembersihan permukaan material pada komponen otomotif. Metode penelitian menggunakan metode SDLC (*System Development Life Cycle*) meliputi: (1) *Requirement analysis* yaitu melakukan analisa kebutuhan terkait dengan spesifikasi mesin yang akan digunakan, (2) Perancangan (design) dengan menggunakan software *Computer Aided Design* (CAD), (3) Proses pembuatan mesin (implementation), (4) Pengujian mesin dan (5) Evaluasi. Penelitian ini menggunakan variable bebas berupa luas area material, tekanan, jenis kontaminan, tebal kontaminan, sedangkan variable tetap berupa abrasive yaitu menggunakan *glassbeads*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin *abrasive water jet* (AWJ) yang dilengkapi dengan ruang kerja (*cabinet*) bekerja secara efektif dan efisien untuk membantu proses restorasi komponen otomotif yaitu untuk material dengan kontaminan kerak oli dengan ketebalan $\pm 50-70$ micron menghasilkan kecepatan pembersihan rata-rata sebesar $48,83 \text{ mm}^2/\text{s}$ dengan tekanan 90 psi, kemudian untuk kontaminan cat dengan ketebalan $\pm 80-100$ micron menghasilkan kecepatan pembersihan rata-rata sebesar $37,38 \text{ mm}^2/\text{s}$ dengan tekanan sebesar 90 psi.

Kata kunci: mesin *Abrasive Water Jet* (AWJ); *remanufacturing cleaning technology*; restorasi komponen otomotif

Abstract

Remanufacturing cleaning technology is a method of cleaning and removing impurity attached to the surface of the material using a machine as a tool or chemical solution. One of the methods developed for cleaning and removing impurity on the surface of the material is *Abrasive Water Jet* (AWJ). The purpose of this study was to determine the effectiveness of the *Abrasive Water Jet* (AWJ) machine in the process of restoration/cleaning the surface of the material on automotive components. The research method using the SDLC (*System Development Life Cycle*) method includes: (1) *Requirements analysis*, namely conducting a needs analysis related to the specifications of the machine to be used, (2) *Design using Computer Aided Design* (CAD) software, (3) *Machine manufacturing process* (implementation), (4) *Machine testing* and (5) *Evaluation*. This study uses the independent variables in the form of material area, type of contaminant, contaminant thickness, while the fixed variable is the amount of pressure and the type of abrasive using *glassbeads*. The results showed that the *abrasive water jet* (AWJ) machine equipped with a workspace (*cabinet*) worked effectively and efficiently to assist the restoration process of automotive components, namely for materials with oil crust contaminants with a thickness of $\pm 50-70$ microns producing an average cleaning speed. of $48.83 \text{ mm}^2/\text{s}$ with a pressure of 90 psi, then for paint contaminants with a thickness of $\pm 80-100$ micron, the average cleaning speed is $37.38 \text{ mm}^2/\text{s}$ with a pressure of 90 psi.

Keywords: *Abrasive Water Jet Machine* (AWJ); *remanufacturing cleaning technology*; *automotive component restoration*

1. Pendahuluan

Metode *Abrasive Water Jet* (AWJ) telah banyak dikembangkan pada industri manufaktur karena memiliki karakteristik yang baik, meliputi: kemampuan operasi yang luas, kualitas produk yang dihasilkan sangat baik dan lebih unggul daripada teknik lainnya, prosesnya efisien dan cepat, *good security*, non-polusi, *high adaptability* serta *low cost* [1-3]. Selain itu, permukaan yang dibersihkan dengan menggunakan metode AWJ memiliki tingkat kehalusan yang tinggi dan salinitas yang rendah yaitu cepat kering dan tidak menimbulkan karat [1]. AWJ merupakan salah satu teknologi

manufaktur berdasarkan pada *erosion localization* dan *intensification* yang mana proses pembersihan permukaan material dengan cara menembakkan partikel abrasif yang bercampur air dan udara bertekanan tinggi untuk menghaluskan permukaan yang kasar, mengasaskan permukaan yang halus, dan menghilangkan kontaminan pada permukaan [4]. Tingkat kekasaran dari permukaan dapat dibedakan melalui besarnya tekanan dan ukuran media abrasif yang digunakan. Jenis media abrasif yang banyak digunakan ialah *steel grit*, *baking soda*, *garnet*, *alox*, *glass beads* dan *silica*. Teknologi AWJ banyak diaplikasikan pada industri manufaktur antara lain: pembersihan dinding luar kapal, kulit pesawat, tangki penyimpanan minyak, peralatan perpindahan panas dan lain sebagainya [5].

Penelitian terkait dengan AWJ telah banyak dilakukan, baik di Indonesia maupun luar negeri. Kohorst Philipp et al. melakukan penelitian terhadap *human dentin machine* menggunakan AWJ dan mengevaluasi pengaruh perbedaan tipe abrasif dan tekanan air pada laju penghilangan kotoran dari permukaan material [6]. Jiang Yu-Ying et al meneliti karakteristik dinamis dari aliran multifase dan menemukan bahwa pengaruh yang baik terhadap bentuk visual permukaan diperoleh dengan cara menambahkan poliakrilamida kedalam campuran AWJ, dimana aliran multifase ini disimulasikan menggunakan persamaan Cross [7]. Dayong Ning et al melakukan studi eksperimental dalam pembersihan lapisan cat menggunakan AWJ, dari hasil percobaan diketahui bahwa tekanan jet, kecepatan transversal, dan waktu tumbukan berulang mempengaruhi hasil pembersihan permukaan material [1]. Zhang et al menganalisis karakteristik gerak partikel abrasif. Berdasarkan hasil simulasi, terbukti bahwa terdapat zona tekanan stagnasi selama penyemprotan AWJ. Partikel abrasif dengan diameter dan densitas besar memiliki kecepatan yang lebih tinggi dan sulit untuk mengubah arah pergerakannya. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi dari *abrasive water jet* [8]. Zhang dan Chen [9] menganalisa penghilangan lapisan cat pada *passenger-vehicle* menggunakan system AWJ dengan menggunakan tekanan air yang tinggi selama pengujian penghilangan lapisan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya tekanan, kecepatan, jarak target dan sudut injeksi terhadap laju penghilangan lapisan. Che et al [10] melakukan penelitian terhadap proses pembersihan lapisan pada material super keras menggunakan *abrasive water jet*. Hasil menunjukkan bahwa besarnya sudut pancaran, tingkat kekerasan substrat berpengaruh terhadap hasil kekerasan permukaan. Zhang et al. [11] membandingkan kinerja penghilangan (erosi) lapisan cat menggunakan *air sandblasting* dan AWJ pada micromachining permukaan papan kuarsa. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semburan air abrasif memiliki erosi yang *brittle* dan *plastic* selama proses pembersihan permukaan. Permukaan yang terkena pancaran air abrasif lebih halus daripada yang dipoles dengan *air sandblasting*. Mieszala et al [12] melakukan pengujian terhadap mekanisme erosi permukaan selama proses pembersihan lapisan permukaan material dengan menggunakan AWJ. Hasil percobaan menunjukkan bahwa variasi kecepatan berpengaruh terhadap kecepatan pembersihan lapisan permukaan. Semakin tinggi kecepatan yang digunakan, maka semakin cepat proses pembersihan lapisan permukaan material. Efisiensi pembersihan dipengaruhi oleh jenis partikel, ukuran partikel, distribusi ukuran partikel dan bentuk dari abrasif partikel. Penelitian menunjukkan bahwa partikel abrasif yang memiliki ukuran lebih besar dapat membawa lebih banyak energi, sehingga akan menghasilkan kemampuan pembersihan yang lebih tinggi [13].

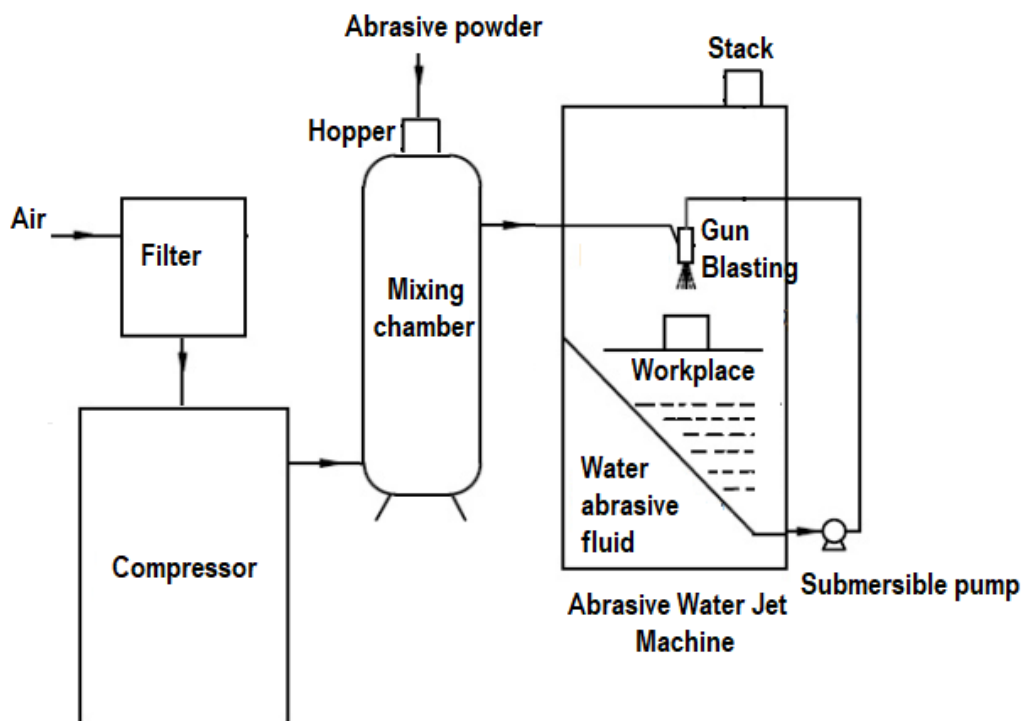
Beberapa penelitian tersebut hanya sebatas melakukan penelitian dengan menggunakan variasi kecepatan, tekanan, sudut pancaran maupun jarak material pada material yang berukuran relative besar (dinding luar kapal, kulit pesawat, mesin industri berukuran besar, dll.). Penelitian mengenai AWJ dengan parameter variasi jenis kontaminan pada permukaan material dan komponen material yang dibersihkan dengan ukuran kecil, khususnya pada komponen otomotif belum dilakukan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektifitas dari mesin AWJ pada proses restorasi/pembersihan permukaan material pada komponen otomotif. Selain itu, penelitian ini menggunakan *Abrasive Water Jet Machine* yang dirancang dengan adanya tambahan ruangan kerja (*cabinet*), sehingga dapat membantu industri

dalam hal kemudahan pengerjaan, keamanan operator, dan dalam pengerjaan lebih efektif dan efisien serta menjadi kebaruan dalam penelitian mengenai AWJ.

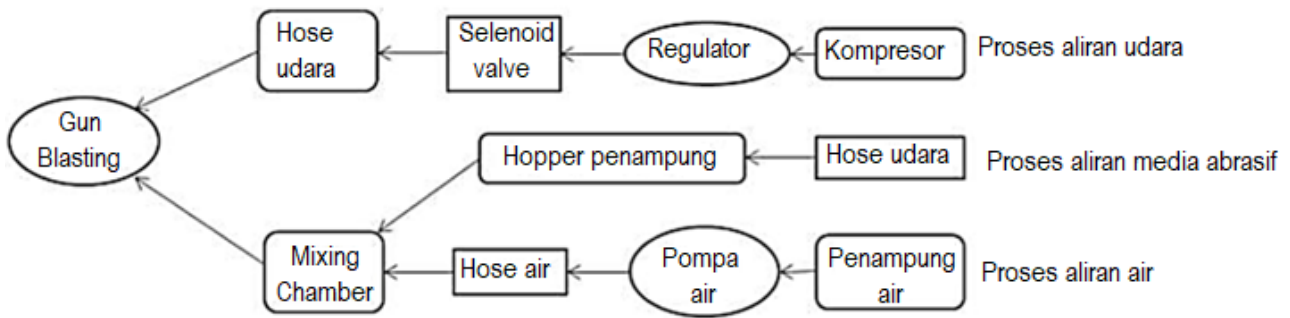
2. Material dan metodologi

Metode penelitian menggunakan metode SDLC (*System Development Life Cycle*). Metode SDLC meliputi: (1) *Requirement analysis* yaitu melakukan analisa kebutuhan terkait dengan spesifikasi mesin yang akan digunakan, (2) Perancangan (*design*) dengan menggunakan software *Computer Aided Design (CAD)*, (3) Proses pembuatan mesin (*implementation*), (4) Pengujian mesin dan (5) Evaluasi. Penelitian ini menggunakan variable bebas berupa luas area material, tekanan, jenis kontaminan, tebal kontaminan, sedangkan variable tetap berupa jenis abrasive yaitu menggunakan *glassbeads*. Mesin AWJ berfungsi untuk menghilangkan atau membersihkan kotoran/kontaminan pada permukaan material. Prinsip kerja AWJ yaitu dengan cara menembakkan partikel abrasif dengan campuran air dengan udara bertekanan tinggi pada sebuah permukaan material sehingga terjadi gaya tumbukan atau gesekan. Dengan demikian permukaan material akan menjadi bersih sekaligus kasar.

Gambar 1 merupakan skema dari mesin AWJ yang digunakan dalam penelitian ini. Sedangkan Gambar 2 merupakan diagram alir cara kerja dari AWJ. Terdapat 3 (tiga) proses aliran pada dari mesin AWJ yaitu proses aliran udara, media abrasif dan air. Air dipompa menuju *mixing chamber*, dalam waktu yang bersamaan media abrasif didalam *hopper* penampung pasir didorong oleh udara memasuki *mixing chamber*. Pada *mixing chamber* terjadi pencampuran antara media abrasif dan air menuju *gun blasting*, kemudian ditekan oleh udara bertekanan dari kompresor melewati *nozzle* pada *gun blasting* yang berada dalam cabinet. Proses *abrasive jet water machining* dapat memberikan hasil lebih baik karena air berfungsi sebagai peredam hantaman media abrasif ke benda.



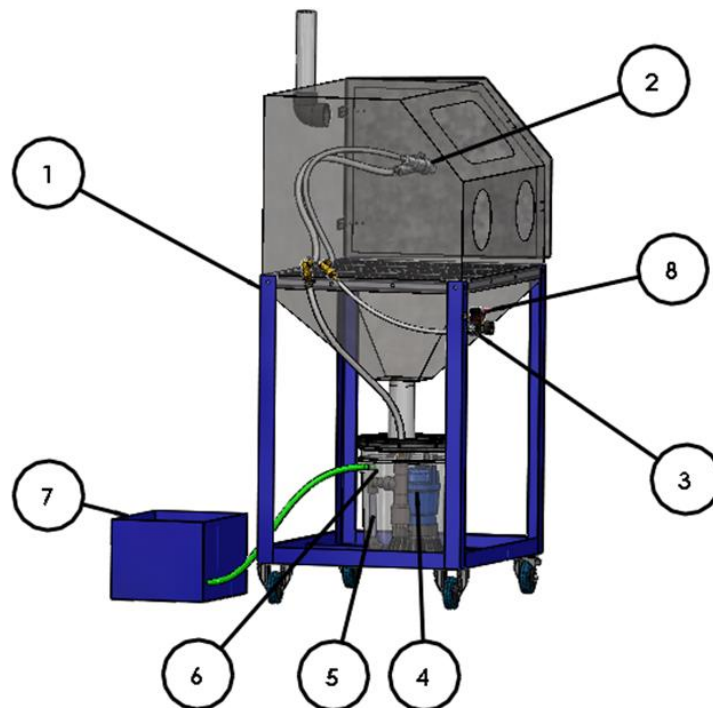
Gambar 1. Skematika AWJ



Gambar 2. Diagram Alir Cara Kerja AWJ

3. Hasil dan pembahasan

Pembuatan desain mesin AWJ menggunakan software *Computer Aided Design (CAD)*. Desain mesin AWJ tersaji pada Gambar 3. Mesin tersebut terdiri dari beberapa komponen, meliputi: (1) *Cabinet*, (2) *Gun Blasting*, (3) *Pressure Regulator*, (4) *Submersible pump*, (5) *Agitator*, (6) Penampung *slurry* dan (7) *Box overflow*. Mesin *Abrasive Water Jet* dirancang dengan adanya tambahan ruangan kerja (*cabinet*), sehingga dapat membantu industri dalam hal kemudahan pengerjaan, keamanan operator, dan dalam pengerjaan lebih efektif dan efisien. Tabel 1 merupakan spesifikasi dari mesin yang telah dirancang. Mesin AWJ dirancang dengan sistem pencampuran air dengan *glassbeads* dilakukan dalam satu wadah yang menggunakan pompa *submersible pump* untuk mengalirkan *slurry*. Proses pencampuran dalam wadah penampung memanfaatkan fungsi dari *submersible pump* yaitu memiliki gaya tekan dari aliran terpisah melewati *tee* dan penyempitan penampung pada *fitting*. Hal ini akan mengakibatkan aliran terbagi menjadi dua yaitu aliran pertama akan naik menuju *gun blasting* (untuk proses kerja) dan aliran kedua kembali ke dalam wadah untuk memberikan gaya dorong pada *glassbeads* dan air supaya selalu tercampur dengan perbandingan yang sesuai. Komposisi campuran antara media abrasive yaitu *glassbeads* yang digunakan yaitu 20%-25% dari total volume air.



Gambar 3. Desain Mesin AWJ

Tabel 1. Spesifikasi *Abrasive Water Jet Machine* (AWJ)

Spesifikasi mesin	: (850 x 650 x 1720) mm
Kecepatan pembersihan	: 48,83 mm ² /s
Tekanan udara	: 79-90 psi
Debit slurry	: 1,65 L/s
Daya kompresor	: 7,5 Hp
Daya pompa	: 0,5 Hp
Kapasitas beban	: 80 kg
Kapasitas pasir	: 2,4 liter
Kapasitas air	: 9,6 liter

Setelah melakukan perancangan mesin AWJ, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan proses pembuatan mesin. Gambar 4 merupakan bentuk mesin AWJ yang telah berhasil dibuat. Untuk mengetahui kinerja dari mesin, maka dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan melalui 2 tahap yaitu tahap pertama pengujian elektrik dan tahap kedua pengujian mekanik [14].

1. Pengujian elektrik, dilakukan guna mengetahui kontrol elektrik, pompa, kompresor dan semua komponen lainnya apakah bekerja dengan baik dan benar sesuai dengan yang dikehendaki [15]. Pada pengujian ini dilakukan tanpa adanya input media abrasive.
2. Pengujian mekanik, dilakukan dengan menggunakan media abrasive, aliran udara dan aliran air dengan variasi tekanan, jenis kontaminan material uji serta tebal kontaminan material uji.















Gambar 4. Mesin *Abrasive Water Jet* (AWJ)

Tabel 2 merupakan hasil pengujian mesin AWJ. Pengujian dilakukan dengan cara menyemprotkan udara bertekanan dan aliran *slurry* ke material uji yang telah ditentukan jenis dan tebal kontaminan serta luasannya. Material uji yang digunakan ialah komponen otomotif yang sering digunakan dalam kehidupan masyarakat dan terjadi kerusakan seperti kotor maupun korosi yang dapat mengurangi fungsi/kinerja dari alat. Sehingga, butuh dilakukan restorasi dalam hal ini menggunakan salah satu jenis *remanufacturing cleaning technology* yaitu AWJ. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada masing – masing material uji dengan menggunakan tekanan yang sama untuk mengetahui waktu yang diperlukan dalam restorasi komponen otomotif tersebut.

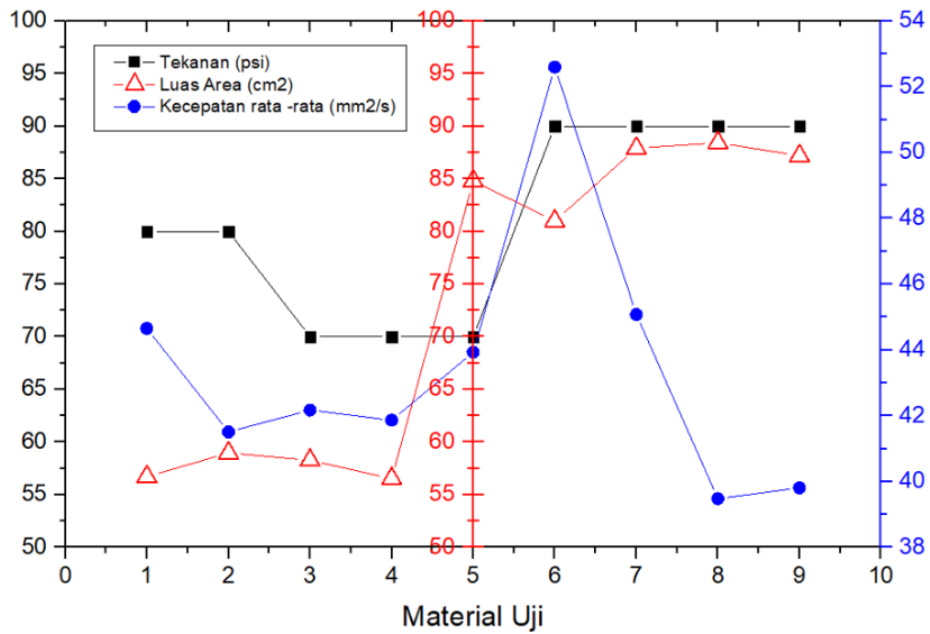
Tabel 2. Hasil Pengujian Mesin *Abrasive Water Jet* (AWJ)

No	Material Uji	Jenis Kontaminan	Tebal Kontaminan (micron)	Tekanan (psi)	Luas area (mm ²)	Waktu rata – rata (s)	Kecepatan rata-rata pembersihan (mm ² /s)	Visualisasi material uji	
								Sebelum Uji	Setelah Uji
1	Tutup Blok Kop Honda GL	Kerak Oli	± 50-70	80	5671	127	44.65		
2	Tutup Blok Kop Honda GL	Kerak Oli	± 50-70	80	5895	142	41.51		
3	Tutup Dinamo Mitsuba	Kerak Oli	± 50-70	70	5826	67	42.17		
4	Tutup Dinamo Mitsuba	Kerak Oli	± 50-70	70	5652	135	41.86		
5	Tutup Dinamo Mitsuba	Kerak Oli	± 50-70	70	8480	193	43.93		
6	Tutup Blok Kop Supra	Kerak Oli	± 50-70	90	8100	154	52.6		

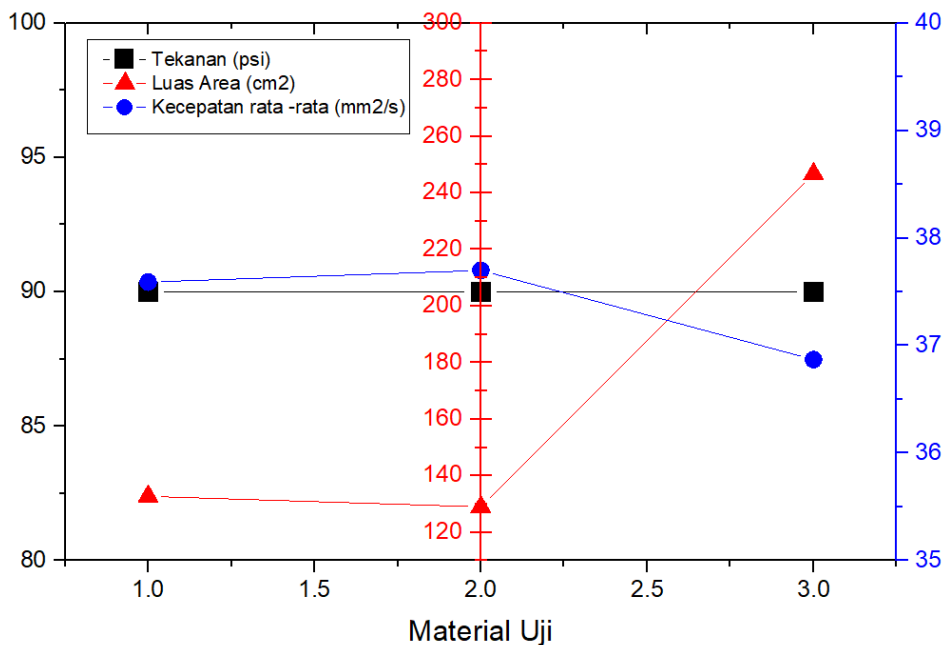
No	Material Uji	Jenis Kontaminan	Tebal Kontaminan (micron)	Tekanan (psi)	Luas area (mm ²)	Waktu rata – rata (s)	Kecepatan rata-rata pembersihan (mm ² /s)	Visualisasi material uji	
								Sebelum Uji	Setelah Uji
7	Tutup Blok Kop Supra	Kerak Oli	± 50-70	90	8790	195	45.07		
8	Blok Magnet Honda	Kerak Oli	± 50-70	90	8844	224	39.48		
9	Blok Magnet Honda	Kerak Oli	± 50-70	90	8719	219	39.81		
10	Tromol	Cat	± 90-100	90	13270	353	37.59		
11	Tromol	Cat	± 90-100	90	12895	342	37.70		
12	Tromol	Cat	± 90-100	90	24670	669	36.87		

Secara visual memperlihatkan bahwa mesin *Abrasive Water Jet* (AWJ) memiliki kinerja yang baik yaitu dapat menghilangkan kontaminan dengan baik tanpa merusak material uji dan menghasilkan permukaan benda yang halus [1] [16]. Hal ini terjadi ketika aliran keluar dari gun blasting mengakibatkan perubahan energi kinetic menjadi energi tekanan yangmana besarnya tekanan dapat mencapai kekuatan luluh dari kontaminan, maka retakan dari kontaminan akan terjadi pada permukaan ini sehingga jika dilakukan secara terus menerus maka dapat menghilangkan kontaminan tersebut dari permukaan material uji [17]. Dari hasil pengujian yang tersaji pada Gambar 5 dan 6 dapat diketahui bahwa untuk bahan uji yang memiliki kontaminan kerak oli dengan ketebalan ±50-70 micron menunjukkan hasil pembersihan paling baik dengan tekanan 90 psi menghasilkan rata-rata kecepatan pembersihan 48,83 mm²/s. Sedangkan pada bahan uji yang memiliki kontaminan cat dengan ketebalan ±90-100 micron menunjukkan hasil pembersihan paling baik dengan tekanan 90 psi menghasilkan rata – rata kecepatan pembersihan 37,38 mm²/s. Kontaminan yang masih menempel pada benda uji membuat proses blasting menjadi lebih lama karena harus mengikis permukaan yang lebih tebal dan banyak, untuk mempercepat proses blasting yang masih terdapat kontaminan berat seperti cat, oli kering dan korosi dapat menggunakan

paint remover terlebih dahulu dan menggunakan tekanan dan jenis abrasives dengan mesh yang lebih besar [18]. Jadi luasan dan tekanan adalah berbanding terbalik, semakin kecil luasan dan semakin besar tekanan maka hasil dari kecepatan pembersihan menjadi lebih besar. Sebaliknya jika semakin besar luasan dan semakin kecil tekanan maka hasil dari kecepatan pembersihan menjadi lebih rendah.



Gambar 5. Grafik Tekanan, Luasan dan Kecepatan Pembersihan pada Masing – Masing Material Uji dengan Kontaminan Kerak Oli



Gambar 6. Grafik Tekanan, Luasan, dan Kecepatan Pembersihan pada Masing – Masing Material Uji dengan Kontaminan Cat

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin *abrasive water jet* (AWJ) yang dilengkapi dengan ruang kerja (*cabinet*) bekerja secara efektif dan efisien untuk membantu proses restorasi komponen otomotif yaitu untuk material dengan kontaminan kerak oli dengan ketebalan $\pm 50-70$ micron menghasilkan kecepatan pembersihan rata-rata sebesar $48,83 \text{ mm}^2/\text{s}$ dengan tekanan 90 psi, kemudian untuk kontaminan cat dengan ketebalan $\pm 80-100$ micron menghasilkan kecepatan pembersihan rata-rata sebesar $37,38 \text{ mm}^2/\text{s}$ dengan tekanan sebesar 90 psi.

Daftar Pustaka

- [1] Ning, D., Wang, Q., Tian, J., YongjunGong, Du, H., Chen, S. dan Hou H.. Experimental Study on the Coating Removing Characteristics of High-Pressure Water Jet by Micro Jet Flow. *Journal Micromachines*. 2021; 12 (173): p. 1-15.
- [2] Daniel, K., Beáta, G., Sergej, H., Peter, M., Katarína, M., Hutyróvá. On-line Monitoring of Technological Process of Material Abrasive Water Jet Cutting. *Tecnicki Vjesnik*. 2015; 22 (2): p. 351-357.
- [3] Fuping, F., Chi, A., Haisu, X., Zhihua, C., Changlong, G. Research on the Condition Model of Drilling Fluid Non-Retention in Eccentric Annulus. *International Journal of Heat and Technology*. 2015; 33 (1): p. 9-16.
- [4] Melentiev, R., Fang, F. Recent Advanced and Challenges of Abrasive Jet Machining. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2018; 22: p. 1-20.
- [5] Frenzel, L.M. Continuing Improvement Initiatives of Surface Preparation with Waterjetting. *Proceedings of the 9th American Waterjet Conference, Dearborn, MI, USA, 23-26 August 2007*.
- [6] Philipp K., Sven T., Christian B, Wilhelm B. F., Stiesch Meike. Machining Human Dentin by Abrasive Water Jet Drilling. *Bio-Medical Materials and Engineering*. 2014; 24 (2): p. 1485-1495.
- [7] Yu-Ying J., Lie-Hang G., Xin-Lin X., Wang You-Cheng. Numerical Simulation of Flow Field in Abrasive Water Jet Nozzles. *Bingong Xuebao/Acta Armamentarii*. 2014; 35 (4): p. 461-467.
- [8] Zhang, X., Zhou, C., Jiang, L. Influence of Process Parameters on Abrasive Particle Motion Characteristics in Abrasive Water Jet Descaling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017; 90: p. 2741-2749.
- [9] Zhang, H., Chen, M. Theoretical Analysis and Experimental Study on the Coating Removal from Passenger-Vehicle Plastic for Recycling by Using Water Jet Technology. *JOM*. 2015; 67: p. 2714-2726.
- [10] Che, C. L., Huang, C. Z., Wang, J. Theoretical Model of Surface Roughness for Polishing Super Hard Materials with Abrasive Waterjet. *Key Eng. Mater.* 2008; 375: p. 465-469.
- [11] Zhang, L., Ji, R., Fu, Y. Investigation on Particle Motions and Resultant Impact Erosion on Quartz Crystals by The Micro-Particle Laden Waterjet and Airjet. *Powder Technol.* 2020; 360: p. 452-461.
- [12] Mieszala, M., Torrubia, P.L., Axinte, D.A. Erosion Mechanism During Abrasive Waterjet Machining: Model Microstructures and Single Particle Experiments. *J. Mater Process Technol.* 2017; 247: p. 92-102.
- [13] Liu Tingcheng, Liu Yan. Study and Application of Abrasive Suspension Continuous Jet Circulatory System. *Cleaning World*. 2011; 27 (11).
- [14] Indrawati, RT., Farika Tono Putri, Rizkha Ajeng Rochmatika dan Prawibowo H. Peningkatan Kapasitas Produksi melalui Rancang Bangun Mesin Semi Otomatis Pemotong Adonan Kerupuk. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2021; 16 (3): pp. 437-446.
- [15] Indrawati, RT., Mahmudati, R. Performansi Alat Backwash Water terhadap Kualiti Tradisional Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2020; 15 (1): p. 26-32.

- [16] Natarajan, Y., Murugesen, P. K., Mohan, M., Ahmed, S., Abrasive Water Jet Machining Process: A State of Art of Review. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020; 49: p. 271-322.
- [17] Glover, H. W., Brass, T., Bhagat, R. K. Cleaning of Complex Soil Layer on Vertical Walls by Fixed and Moving Impinging Liquid Jets. *J. Food Eng.* 2016; 178: p. 95-109.
- [18] Teimourian, H., Shabgard, M. R., Momber, A. W. De-Painting with High-Spees Water Jets: Paint Removal Process and Substrate Surface Roughness. *Prog. Org. Coat.* 2010; 69: p. 455-462.