



Perbandingan Produktivitas *Blasting* Menggunakan Copper Slag Baru, 1 & 2 Pada Permukaan Kapal dengan *Preparation Spot Sweep* Menggunakan Metode ANOVA

Sisilia S. Lelo Kerans¹✉, Erni Puspanantasari Putri¹

⁽¹⁾Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

DOI: [10.31004/jutin.v9i1.52471](https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.52471)

✉ Corresponding author:

[keranesty@gmail.com] [erniputri@untag-sby.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> Copper Slag; Produktivitas; Blasting; Recycle; ANOVA;</p> <p><i>Keywords:</i> Copper Slag; Productivity; Blasting; Recycle; ANOVA;</p>	<p>Proses <i>dry abrasive blasting</i> merupakan tahap penting dalam industri galangan kapal untuk membersihkan permukaan baja dari karat dan kontaminan sebelum pelapisan cat. Salah satu media abrasif yang umum digunakan adalah copper slag, limbah hasil peleburan tembaga yang memiliki tekstur keras dan abrasif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan produktivitas blasting menggunakan copper slag baru, recycle pertama, dan recycle kedua. Parameter yang diteliti meliputi waktu pengerjaan, luas area yang dibersihkan, dan kekasaran permukaan (surface roughness). Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif melalui Analisis Varians (ANOVA satu arah) guna menyebarkan perbedaan signifikan di antara berbagai jenis copper slag. Hasil penelitian menunjukkan bahwa copper slag baru menghasilkan tingkat kekasaran tertinggi namun membutuhkan waktu lebih lama, sedangkan copper slag recycle pertama memiliki keseimbangan terbaik antara efisiensi waktu dan kualitas hasil. Copper slag recycle kedua menghasilkan waktu tercepat namun kualitas kekasaran menurun. Analisis ANOVA menunjukkan terdapat perbedaan signifikan antar ketiga perlakuan. Dengan demikian, pemanfaatan ulang copper slag hingga satu kali recycle masih layak dilakukan tanpa mengurangi standar hasil Sa 2,5 ISO 8501-1.</p>
	<p>Abstract</p> <p><i>Dry abrasive blasting is a critical process in the shipyard industry for removing rust and contaminants from steel surfaces prior to coating. Copper slag, a by-product of copper smelting, is commonly used as an abrasive medium due to its hardness. This study compares blasting productivity using new copper slag, first-cycle recycled copper slag, and second-cycle recycled copper slag. The evaluated parameters include processing time, cleaned surface area, and surface roughness. A quantitative</i></p>

method employing one-way Analysis of Variance (ANOVA) was applied to determine significant differences among the treatments. The results show that new copper slag produces the highest surface roughness but requires longer processing time. First-cycle recycled copper slag provides the most optimal balance between time efficiency and surface quality, while second-cycle recycled copper slag achieves the fastest processing time with reduced surface roughness. ANOVA results indicate significant differences among the three treatments. The findings suggest that copper slag can be effectively reused for one recycling cycle without compromising the Sa 2.5 standard according to ISO 8501-1.

1. PENDAHULUAN

Proses *surface preparation* merupakan tahapan penting dalam industri galangan kapal karena menentukan kualitas dan daya lekat pelapisan cat pada permukaan baja. Metode yang umum digunakan adalah *dry abrasive blasting*, yaitu teknik pembersihan menggunakan material abrasif bertekanan tinggi untuk menghilangkan karat, cat lama, dan kontaminan (Hendrawan & Apriliani, 2020). Salah satu material abrasif yang banyak digunakan adalah copper slag, karena harganya terjangkau, memiliki daya abrasif yang baik, serta mudah diaplikasikan pada pekerjaan blasting (Nugroho, 2016; Singh & Garg, 2018).

Dalam praktiknya, copper slag sering kali digunakan sekali pakai, padahal hasil penelitian menunjukkan bahwa copper slag masih dapat digunakan kembali dengan performa yang cukup baik hingga beberapa kali daur ulang beberapa studi menunjukkan bahwa pemakaian ulang copper slag masih mampu menghasilkan tingkat kekasaran SA 1 selama kualitas butiran masih memenuhi standar. Pemakaian ulang ini berpotensi mengurangi biaya operasional serta mengurangi timbulan limbah industri. Namun, penggunaan copper slag berulang kali juga dapat memengaruhi ketajaman butiran abrasif sehingga berdampak pada kecepatan pembersihan, luas area kerja, dan hasil kekasaran permukaan ISO 8501-1 (International Organization for Standardization).

PT. XYZ Shipyard sebagai galangan kapal yang menggunakan copper slag dalam proses spot sweep blasting belum memiliki kajian khusus terkait perbedaan produktivitas antara copper slag baru dan hasil daur ulang. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan produktivitas blasting menggunakan copper slag baru, recycle pertama, dan recycle kedua, dengan mengukur waktu penggerjaan, luas area hasil blasting, dan tingkat kekasaran permukaan. Analisis statistik menggunakan ANOVA satu arah karena variabel bebas berupa jenis copper slag memiliki tiga kategori perlakuan berbeda. ANOVA satu arah dipilih untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan rata-rata hasil abrasif blasting yang signifikan antara ketiga jenis copper slag tersebut. Metode ini lebih tepat dibandingkan uji t karena mampu membandingkan lebih dari dua kelompok tanpa meningkatkan risiko kesalahan tipe I. Penggunaan ANOVA pada penelitian yang melibatkan perbandingan material abrasif juga telah banyak digunakan dalam penelitian terdahulu. Singh & Garg (2018) menggunakan ANOVA untuk menganalisis perbedaan performa copper slag terhadap hasil kebersihan permukaan. Penelitian lain oleh Abubakar et al. (2020) membandingkan tiga jenis abrasif dan menemukan perbedaan signifikan pada roughness menggunakan ANOVA satu arah. Dengan dasar tersebut, ANOVA satu arah merupakan metode statistik yang paling relevan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis copper slag dalam penelitian ini. Dipakai untuk melihat apakah terdapat perbedaan signifikan dari ketiga jenis copper slag tersebut.

Penelitian ini diharapkan memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi penggunaan copper slag pada berbagai tingkat daur ulang, sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi perusahaan untuk meningkatkan efektivitas proses blasting serta mengoptimalkan penggunaan material abrasif.

2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif, khususnya metode eksperimen lapangan (field experiment). Tujuannya adalah untuk mengetahui dan membandingkan tingkat produktivitas proses *dry abrasive blasting* menggunakan tiga perlakuan berbeda, yaitu: Copper slag baru, Copper slag recycle pertama, dan Copper slag recycle kedua.

Setiap perlakuan diuji secara langsung di lapangan (pada area permukaan kapal) dengan kondisi kerja yang dikendalikan agar tetap sama, seperti:

1. Tekanan udara kompresor,
2. Jarak serta sudut penyemprotan,
3. Ukuran nozzle (15 mm),
4. Jumlah tenaga kerja (9 orang per sesi),
5. Standar kebersihan permukaan (ISO 8501-1 Sa 2,5).

Pendekatan eksperimental ini dipilih karena peneliti membandingkan pengaruh jenis copper slag terhadap variabel terukur, yaitu waktu kerja, luas area pembersihan, dan tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*).

Rancangan penelitian ini termasuk dalam One Way Experimental Design, di mana satu faktor diuji dengan tiga level perlakuan (baru, recycle 1, recycle). Populasi dan Sampel (Sasaran Penelitian) Populasi penelitian ialah semua kegiatan *dry abrasive blasting* yang dilakukan di PT. XYZ Shipyard, Batam, khususnya pada proses pembersihan permukaan kapal dengan menggunakan media abrasif copper slag. Sampel penelitian ditentukan secara purposive sampling, adalah proses pengambilan sampel dengan memilih responden atau objek yang memenuhi kerityeria tertentu sesuai dengan tujuan penelitian adalah:

Tiga jenis material abrasif copper slag:

1. Copper slag baru (belum pernah digunakan)
2. Copper slag recycle pertama (hasil penyaringan dari penggunaan pertama)
3. Copper slag recycle kedua (hasil penyaringan dari penggunaan kedua)

Setiap jenis material diuji sebanyak empat kali pengulangan (4 pot) untuk memperoleh data yang representatif dan memungkinkan dilakukan analisis statistik.

Sasaran pengamatan mencakup:

1. Operator blasting (9 orang dalam setiap perlakuan),
2. Area kerja kapal tempat dilakukan pengujian, dan
3. Peralatan blasting (kompresor, sandpot, nozzle, hose, dan alat ukur kekasaran).

Metode Pengambilan Data

1. Pengambilan Data

Adapun jenis dan sumber data yang digunakan dalam studi ini adalah:

- a. Data mentah, diperoleh langsung dari hasil pengukuran di lapangan.
 - Waktu proses blasting (menit) diukur menggunakan stopwatch digital.
 - Luas area kerja (m^2) diukur menggunakan meteran baja atau alat ukur area.
 - Kekasaran permukaan (μm) diukur menggunakan alat *Surface Profile Gauge* sesuai standar ISO 8503-1.
 - Jenis copper slag dicatat berdasarkan perlakuan (baru, recycle 1, recycle 2).
- b. sumber Data sekunderberasal dari catatan internal perusahaan dan referensi teori dari buku, jurnal, serta standar teknis (SSPC, ISO, NACE) untuk mendukung analisis data.

Proses pengolahan data

Pengolahan data yang digunakan secara kuantitatif melalui beberapa berbagai berikut:

1. Analisis Deskriptif

Langkah awal analisis adalah menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, dan rentang nilai dari setiap parameter (waktu, area, kekasaran, dan produktivitas). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui gambaran umum kinerja masing-masing perlakuan sebelum dilakukan uji statistik.

2. Uji Asumsi Statistik

Sebelum melakukan uji ANOVA, dilakukan dua uji prasyarat:

- a. Uji Normalitas (Shapiro-Wilk Test) untuk memastikan data terdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas (Levene Test) untuk memastikan varian antar kelompok perlakuan homogen.

Jika kedua asumsi terpenuhi, maka data valid untuk dianalisis menggunakan ANOVA.

3. Uji ANOVA Satu Arah (One Way ANOVA)

Pengujian ini digunakan untuk menentukan signifikansi perbedaan nilai rata-rata produktivitas yang signifikan antara tiga kelompok perlakuan.

Rumus umum ANOVA:

$$F = \frac{M \text{ Santara kelompok}}{M \text{ Sdalam kelompok}}$$

Kriteria pengujian:

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel} (\alpha = 0,05)$ $\rightarrow H_0$ ditolak \rightarrow ditemukan adanya perbedaan signifikan antar kelompok.
- Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ $\rightarrow H_0$ diterima \rightarrow tidak terdapat perbedaan signifikan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penggunaan tiga jenis material abrasive—copper slag baru, recycle 1, dan recycle 2—terhadap hasil proses dry abrasive blasting pada plat baja kapal, dengan tekanan kerja konstan 7.2 bar. Data yang dianalisis mencakup durasi waktu blasting, luas area yang dibersihkan (m^2), dan kekasaran permukaan (micron μm).

1. Hasil rata-rata Durasi time/waktu pada sandpot blasting

dry abrasive blasting dengan tekanan/pressure 7.2 Bar diperoleh data dengan waktu rata-rata sbb:

Tabel 4.2 Hasil rata-rata durasi waktu perlakuan copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2

Perlakuan Copper Slag Baru	Durasi Waktu Per Sandpot
Mean	22"29,70"
Perlakuan Copper Recycle 1	Durasi Waktu Per Sandpot
Mean	18"26,40"
Perlakuan Copper Recycle 2	Durasi Waktu Per Sandpot
Mean	15"29,70"

2. Hasil rata-rata Jumlah area yang diperoleh (M^2)

Dengan pressure 7.2 Bar dan waktu yang diperoleh maka didapatkan hasil rata-rata total area yang di blasting.

Tabel 4.3 Hasil rata-rata area yang diperoleh copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2

Perlakuan Copper Slag Baru	Luasan Area Yang Didapat (M^2)
Mean	9.96 M^2
Perlakuan Copper Recycle 1	Luasan Area Yang Didapat (M^2)
Mean	12.90 M^2
Perlakuan Copper Recycle 2	Luasan Area Yang Didapat (M^2)
Mean	14.06 M^2

3. Hasil rata-rata kekasaran permukaan (MICRON μm)

Setelah dilakukan proses *dry abrasive blasting* kekasaran permukaan plat ASTM36 dengan menggunakan Press-O Film Test.

Tabel 4.4 Hasil rata-rata kekasaran/roughness copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2

Perlakuan Copper Slag Baru	Kekasaran Permukaan (Micron μm)
Mean	79 Micron μm
Perlakuan Copper Recycle 1	Kekasaran Permukaan (Micron μm)
Mean	56 Micron μm
Perlakuan Copper Recycle 2	Kekasaran Permukaan (Micron μm)
Mean	42 Micron μm

Uji Anova

Uji ANOVA (Analysis of Variance) adalah metode statistik untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan diantara rata-rata (mean) dari tiga atau lebih kelompok data. ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata dalam beberapa kelompok data dan menentukan apakah perbedaan antara kelompok-kelompok tersebut disebabkan oleh faktor acak atau karena perbedaan yang signifikan.

Dasar pengambilan keputusan :

- Nilai Sig. (*P Value*) $< 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan secara nyata.
- Nilai Sig. (*P Value*) $> 0,05$ menunjukkan tidak adanya perbedaan secara nyata.

1. Perhitungan ANOVA durasi Time per sandpot

Tabel 4.5 Hasil tests anova pada nilai durasi time persandpot

DURASI_BLASTING	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
					0.000
Between Groups	741.663	2	370.832	283.450	
Within Groups	113.820	87	1.308		
Total	855.484	89			

Pada hasil uji ANOVA nilai durasi/time persandpot proses dry abrasive blasting menggunakan material *copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2* terdapat rata-rata dari kelompok-kelompok data maka pada uji anova mendapatkan hasil nilai F hitung = 283.450 dengan tingkat sig 0,000 yang artinya nilai sig (*P Value*) lebih kecil dari 0,05 maka berkesimpulan ada perbedaan rata-rata dari kelompok-kelompok data secara nyata. Dengan kata lain ada pengaruh dengan varibel material *copper slag* (X) terhadap variable Hasil durasi/time per sandpot (Y).

2. Uji ANOVA Jumlah Area yang didapat (M^2)

Tabel 4.11 Hasil tests anova pada nilai jumlah Area yang didapat (M^2)

LUASAN_AREA	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
					0.000
Between Groups	267.945	2	133.973	311.124	
Within Groups	37.463	87	0.431		
Total	305.408	89			

Pada hasil uji ANOVA nilai hasil tests anova pada nilai jumlah Area yang didapat (M^2) proses dry abrasive blasting menggunakan material *copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2* terdapat rata-rata dari kelompok-kelompok data maka pada uji anova mendapatkan hasil nilai F hitung = 311.124 dengan tingkat sig 0,000 yang artinya nilai sig (*P Value*) lebih kecil dari 0,05 maka berkesimpulan ada perbedaan rata-rata dari kelompok-kelompok data secara nyata. Dengan kata lain ada pengaruh dengan varibel material *copper slag* (X) terhadap variable hasil nilai jumlah Area yang didapat meter square (Y).

3. Uji ANOVA Kekasaran/Roughness permukaan Micron μm

Tabel 4.12 Hasil tests anova pada nilai kekasaran/roughness permukaan micron μm

NILAI_KEKASARAN	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2860.667	2	1430.333	313.976	0.000
Within Groups	41.000	87	4.556		
Total	2901.667	89			

Pada hasil uji ANOVA nilai kekasaran/roughness permukaan micron μm proses dry abrasive blasting menggunakan material *copper slag baru, recycle 1 dan recycle 2* terdapat rata-rata dari kelompok-kelompok data maka pada uji anova mendapatkan hasil nilai F hitung = 313.967 dengan tingkat sig 0,000 yang berartinya nilai sig (*P Value*) lebih kecil dari 0,05 maka berkesimpulan ada perbedaan rata-rata dari kelompok-kelompok data secara nyata. Dengan kata lain ada pengaruh dengan varibel material *copper slag* (X) terhadap variable hasil nilai kekasaran/roughness permukaan micron μm square (Y). Berdasarkan hasil uji ANOVA, diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara penggunaan *copper slag* baru, *recycle* pertama, dan *recycle* kedua pada durasi waktu, luas area blasting, dan kekasaran permukaan. *Copper slag* *recycle* kedua memberikan hasil penggerjaan paling cepat namun dengan kualitas kekasaran yang lebih rendah, sedangkan *recycle* pertama menunjukkan hasil paling seimbang. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa abrasive masih efektif digunakan kembali hingga batas tertentu sebelum performanya menurun. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan penggunaan *copper slag* yang lebih efisien di industri galangan kapal.

4. KESIMPULAN

1. Perbandingan waktu penggerjaan *blasting*, Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan waktu penggerjaan yang signifikan antar jenis *copper slag*. *Copper slag* baru memiliki waktu rata-rata penggerjaan sebesar 22 menit 29,70 detik, *copper slag* *recycle* pertama 18 menit 26,40 detik, sedangkan *copper slag* *recycle* kedua paling cepat dengan waktu 15 menit 29,70 detik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ulang *copper slag* mampu meningkatkan efisiensi waktu proses *blasting*.
2. Pengaruh penggunaan ulang *copper slag* terhadap kekasaran permukaan, Nilai rata-rata kekasaran permukaan tertinggi diperoleh dari *copper slag* baru sebesar 79 μm , diikuti *copper slag* *recycle* pertama sebesar 56 μm , dan *copper slag* *recycle* kedua sebesar 42 μm . Terjadi penurunan nilai kekasaran seiring meningkatnya tingkat penggunaan ulang *copper slag*, namun *copper slag* *recycle* pertama masih memenuhi rentang standar kekasaran permukaan yang dipersyaratkan untuk persiapan permukaan kapal.
3. Penentuan media *blasting* yang paling optimal, Berdasarkan evaluasi gabungan antara waktu penggerjaan, luas area, dan kualitas kekasaran permukaan, *copper slag* *recycle* pertama merupakan media blasting yang paling optimal. *Copper slag* *recycle* pertama mampu membersihkan rata-rata 12,90 m^2 dengan waktu 18 menit 26,40 detik dan menghasilkan kekasaran permukaan 56 μm , sehingga memberikan keseimbangan terbaik antara efisiensi kerja dan kualitas hasil dibandingkan *copper slag* baru maupun *recycle* kedua.

5. REFERENCES

- Andriansyah, Dennizal. (2016) Analisa Antara Pasir Silika Dengan Pasir Vulkanik Terhadap Hasil *Sandblasting* . (Final Project, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Azhar, M., C., (2014). Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong. Skripsi : Universitas Bengkulu.
- Bangun, P., W., Widiyarta, M., I., & Parwata, M., I. (2017) Pengaruh Waktu Dan Ukuran Partikel Dry *Sandblasting* Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Baja Karbon Sedang. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika* Vol 6 No 1 pp 138- 141.
- Biro Klasifikasi Indonesia (2013). Guidance For Coating Performance Standards, Vol G, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), Jakarta.
- Efrian, I., K., B., A (2021). Pengaruh Variasi Tekanan Pada Proses *Sandblasting* Pelat Bangunan Kapal Terhadap Hasil Kekasaran dan Waktu Proses. (Skripsi. Universitas Hangtuah Surabaya).
- Hendrawan, A., L., & Apriliani, R. (2020, March). *Sandblasting* Pada Kapal MV Berlian Indah. *Jurnal Saintara* Vol 4 No 2, pp 25-32.
- International Standart Organization (1988) Preparation of Steel Substrates Before Application of Paint and Related Products – Visual Assessment of Surface Cleanliness – Part 1: Rust Grades of Uncoated Steel Substrates and of Steel Substrates After Overall Removal of Previous Coatings (ISO 8501-1:1988), International Standart Organization (ISO), Swiss.
- Saragi, J., B (2022). Analisa Kebutuhan Pasir Dengan Variasi Tekanan Pada Proses *Sandblasting* Pelat Bangunan Kapal. (Skripsi, Universitas Hangtuah Surabaya)
- Sulistyo, E., & Setyarini, H. P. (2011) Pengaruh Waktu dan Sudut Penyemprotan Pada Proses *Sandblasting* Terhadap Laju Korosi Hasil Pengecatan Baja AISI 430. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malan
- The National Association of Corrosion Engineers 1997, Surface Preparation of Concrete (NACE No.1-6), The National Association of Corrosion Engineers (NACE), North America.
- Vijaya, B., & Elavenil, S. (2013). Manufactured Sand, a Solution and an Alternative to River Sand in Concrete Manufacturing. *IJCERD (International Journal of Civil Engineering Research and Development)*, Vol 3 No 1, pp 2248-9428.
- Widana, F.S., (2018). Pengaruh Variasi Jarak, Waktu , dan Tekanan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses *Sandblasting* Dengan Metode Regresi Linier. (Skripsi, Universitas Jember)
- SSPC (Society for Protective Coatings, 2004) mendefinisikan standar kebersihan permukaan baja.
- Coating Inspector Program Level 1* (NACE International, 2011) sistem pelapisan (coating) merupakan salah satu metode utama dalam melindungi baja dari kerusakan akibat korosi
- Ilham Kurnia Efrian Bi Aziz pada tahun 202. Pengaruh Variasi Tekanan Pada Proses Sandblasting Pelat Bangunan Kapal Terhadap Hasil Kekasaran dan Waktu Proses.
- Wahyuni (2017) *Analisa Produktivitas* menguraikan bahwa produktivitas dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti aspek teknis, manusia, lingkungan kerja, manajerial, dan eksternal.
- Aziza (2024) *Pengantar Statistika: Analisis Varian (ANOVA)* merangkum berbagai penelitian yang menggunakan ANOVA sebagai metode uji statistik.
- Nugroho (2016) material abrasif yang dipilih memiliki pengaruh yang besar terhadap proses blasting.