

**KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI UKURAN BUTIR DAN TEKANAN
PENYEMPROTAN MATERIAL ABRASIF DALAM PROSES SAND-BLASTING
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN UMUR
LELAH PADA STAINLESS STEEL 304**

Hendri Kusumawijaya^[1], Hadi Sutanto^[1], dan Roziq Himawan^[2]

^[1]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

^[2]Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional
e-mail: hendri2501@gmail.com

ABSTRAK

KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI UKURAN BUTIR DAN TEKANAN PENYEMPROTAN MATERIAL ABRASIF DALAM PROSES SAND-BLASTING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN UMUR LELAH PADA STAINLESS STEEL 304. Proses *sand-blasting* merupakan salah satu jenis *surface treatment* dengan cara menembakkan partikel tekanan tertentu ke permukaan material sehingga menimbulkan tumbukan dengan tujuan menghilangkan kontaminasi seperti korosi, sisa pengecatan, kristalisasi garam, dan pelumas. Proses *sand-blasting* dilakukan setelah proses pengelasan dalam kegiatan penggantian komponen penunjang kerja PLTN, bertujuan untuk menghilangkan *heat tint* yang dapat mempengaruhi ketahanan komponen terhadap korosi dan mencegah terjadinya kontaminasi komponen pengganti yang dapat mempengaruhi performa pada kondisi lingkungan ekstrim. Eksperimen pada material *stainless steel* AISI 304 ini terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu proses *sand-blasting* pada spesimen uji, dilanjutkan dengan melakukan pengujian kekasaran permukaan, dan terakhir melakukan pengujian lelah. Dua jenis ukuran *glass bead* (Mesh 3, Mesh 8) dan tiga tingkatan tekanan penyemprotan material abrasif (4, 5, 6 bar) digunakan dalam proses *sand-blasting*. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa proses *sand-blasting* merubah nilai kekasaran permukaan dan umur lelah pada material *stainless steel* AISI 304. Variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 dengan tekanan penyemprotan material abrasif sebesar 5 bar menghasilkan nilai kekasaran permukaan dan umur lelah yang optimal.

Kata kunci: *Stainless steel* AISI 304, *sand-blasting*, nilai kekasaran permukaan, umur lelah

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF GRAIN SIZE AND BLASTING PRESSURE VARIATION ON SAND-BLASTING PROCESS TO SURFACE ROUGHNESS AND FATIGUE LIFE ON STAINLESS STEEL 304. *Sand-blasting* is one of surface treatment that utilize particle with certain velocity to the material surface that cause impact with the purpose to eliminate contamination such as corrosion, paint residue, crystalized salt, and grease. *Sand-blasting* process applied after welding process on replacement of supporting component in nuclear power plant, to eliminate heat tint that affect corrosion resistance and prevent contamination which affect component performance at extreme environment. Experiment on the AISI 304 stainless steel divided in three major steps, first was sand-blasting process on the test specimen, next step was surface roughness test, and the last one was fatigue test. Grain size of glass bead materials used were Mesh 3 and Mesh 8. Blasting pressure that used were 4, 5, and 6 bar. Experimental result suggested that sand-blasting process with combination of grain size and blasting pressure cause changes on several surface roughness and fatigue life on AISI 304 stainless steel. Optimum surface roughness value and fatigue life would get from sand-blasting process with variation of glass bead Mesh 8 and 5 bar blasting pressure.

Key words: *AISI 304 stainless steel, sand-blasting, surface roughness, fatigue life*

PENDAHULUAN

Proses *sand-blasting* merupakan salah satu jenis *surface treatment* dengan cara menembakkan partikel dengan tekanan tertentu ke permukaan material sehingga menimbulkan tumbukan yang bertujuan menghilangkan kontaminan seperti produk korosi, sisa pengecatan, kristalisasi garam, dan pelumas[1]. Tumbukan yang terjadi akibat partikel bertekanan yang diarahkan langsung pada permukaan material meluruhkan kontaminan dan menyebabkan terjadinya deformasi berupa takik berukuran kecil[2]. Terbentuknya takik berukuran kecil pada permukaan material menandakan terjadinya perubahan nilai kekasaran permukaan. Ukuran deformasi dan perubahan nilai kekasaran permukaan yang terjadi akibat proses *sand-blasting* bergantung pada ukuran butir material abrasif, jarak penyemprotan, tekanan penyemprotan butir material abrasif ke permukaan material, dan durasi proses *sand-blasting* pada permukaan material.

Material *stainless steel* AISI 304 banyak digunakan sebagai bahan komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), seperti pada pipa pendingin primer, pompa resirkulasi reaktor, dan *heat exchanger*. Proses *sand-blasting* diterapkan setelah proses pengelasan dalam kegiatan penggantian komponen penunjang kerja PLTN[3]. Pengelasan pada material *stainless steel* meninggalkan jejak berupa *heat tint*

dan mengakibatkan penipisan lapisan kromium akibat terbentuknya kromium karbida di sepanjang batas butir. Apabila penipisan lapisan kromium terjadi hingga kadarnya di bawah 12 wt%, lapisan pasif pelindung berupa kromium oksida tidak dapat dipertahankan sehingga material rentan terhadap korosi[4].

Penggunaan proses *sand-blasting* bertujuan untuk menghilangkan *heat tint* yang dapat mempengaruhi ketahanan komponen terhadap korosi dan mencegah terjadinya kontaminasi pada komponen pengganti yang dapat mempengaruhi kinerja komponen PLTN pada kondisi lingkungan ekstrim. Eksperimental ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir material abrasif dan tekanan penyemprotan butir material abrasif dalam proses *sand-blasting* terhadap kekasaran permukaan dan umur lelah pada material *stainless steel* AISI 304, serta mengetahui nilai optimum variabel *sand-blasting*.

TEORI

Abrasive blasting didefinisikan sebagai proses pembersihan dan penyelesaian akhir permukaan material dengan aliran paksa material abrasif dalam kondisi kering maupun tersuspensi dalam bentuk cair terhadap permukaan material yang akan dikerjakan[5]. *Abrasive blasting* umum digunakan dalam berbagai proses

dalam industri, seperti dalam manufaktur peleburan material, manufaktur pesawat dan kapal, manufaktur besi dan baja, serta kegiatan pengelasan dalam proses penggantian komponen penunjang kerja PLTN[3]. *Abrasive blasting* dianggap lebih ekonomis dilakukan dalam penyelesaian akhir permukaan material ditinjau dari durasi pengerjaan dan biaya karena proses ini tidak memerlukan investasi besar akibat kesederhanaan teknologi perangkat penunjangnya. Tumbukan yang terjadi akibat partikel bertekanan yang diarahkan langsung pada permukaan material meluruhkan kontaminasi seketika dan menyebabkan terjadinya deformasi berupa takik berukuran kecil[2]. Terbentuknya takik berukuran kecil pada permukaan material[6] menandakan terjadinya perubahan nilai kekasaran permukaan.

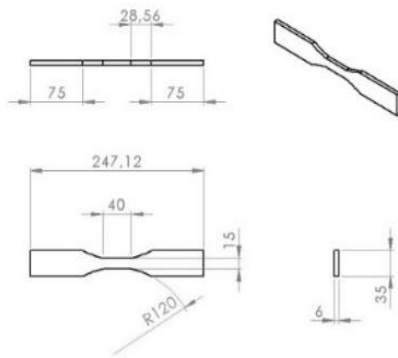
Kekasaran permukaan menjadi salah satu aspek yang diperhatikan dalam proses permesinan yang dilakukan pada material. Terdapat dua alasan pentingnya pengukuran kekasaran permukaan, sebagai kontrol kualitas terhadap proses permesinan dan menjaga konsistensi kualitas hasil proses permesinan. Selain dapat digunakan dalam mendeteksi beberapa kesalahan bentuk yang terjadi setelah proses permesinan, nilai kekasaran permukaan juga dapat dijadikan sebagai indikator umur lelah suatu material. Merujuk pada teori dari penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa umur lelah material

berbanding terbalik dengan nilai kekasaran permukaan; semakin rendah nilai kekasaran permukaan material, semakin tinggi umur lelah material yang dapat dicapai[7].

Fatigue (lelah) didefinisikan sebagai salah satu bentuk kegagalan pada material yang mengalami pembebanan dinamis^[4]. Istilah lelah secara umum digunakan karena bentuk kegagalan ini terjadi setelah pemberian tegangan atau regangan berulang dengan durasi yang lama. Umur lelah menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan, karena lelah menjadi penyebab utama kegagalan kerja dan fenomena terjadinya yang secara tiba-tiba. Umur lelah yang terjadi pada suatu material bergantung pada beberapa faktor, seperti besaran tegangan rata-rata yang terjadi, desain yang diterapkan pada material, kondisi pada permukaan material, dan kondisi lingkungan.

METODOLOGI

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stainless steel* AISI 304 dengan tipe *hot rolled flat bar*. Geometri spesimen uji lelah yang digunakan dalam pengujian mengikuti ketentuan dalam ASTM E466 - *Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Test of Metallic Material*[8], adapun geometri spesimen uji mengacu pada ASTM E466 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Geometri spesimen uji

Setelah proses permesinan pada spesimen uji, dilakukan pengujian kekasaran permukaan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian kekasaran permukaan berupa nilai R_a , yang didefinisikan oleh *Mitutoyo Engineer's Guide Volume 1*[9] sebagai penyimpangan rata-rata aritmetika dari profil kekasaran permukaan. Apabila rentang nilai R_a terlalu jauh, diberikan proses *grinding* pada seluruh spesimen uji untuk memastikan spesimen uji memiliki kondisi permukaan yang sama.



Gambar 2. Peletakan spesimen uji dalam proses *sand-blasting*

Proses *sand-blasting* spesimen dilakukan dengan metode *direct air pressure* secara manual oleh praktisi dilengkapi dengan kabinet tertutup sebagai lokasi penyemprotan material abrasif ke

permukaan spesimen uji. Spesimen uji diletakkan pada ragum penjepit, dengan isolasi berwarna kuning seperti diperlihatkan Gambar 2 sebagai penanda jarak penyemprotan material abrasif diukur dari permukaan spesimen hingga ujung nosel penyemprot yang seragam yaitu 10 mm. Nosel penyemprot material abrasif dipertahankan dalam kondisi tegak lurus (90°) terhadap permukaan spesimen uji yang akan diberikan proses *sand-blasting*. Durasi proses *sand-blasting* pada keseluruhan bagian *gage length* dari spesimen uji dibatasi selama tiga menit.

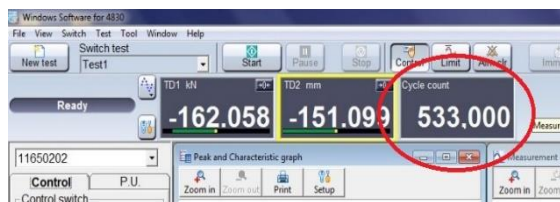
Proses *sand-blasting* pada setiap spesimen menggunakan variasi ukuran butir material abrasif jenis *glass bead* (Mesh 3, Mesh 8) dan tekanan penyemprotan material abrasif (4 bar, 5 bar, 6 bar). Material abrasif jenis *glass bead* digunakan untuk menghasilkan permukaan akhir halus dan terlihat cerah. Tekanan penyemprotan material abrasif menyesuaikan kemampuan mesin *air compressor* yang digunakan dalam proses *sand-blasting*. Setelah proses *sand-blasting* diberikan pada spesimen uji, dilakukan pengujian nilai kekasaran permukaan untuk mengetahui perubahan nilai kekasaran permukaan.

Pengujian lelah kemudian dilakukan dengan mesin uji dinamis seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin uji dinamis 250 kN

Umur lelah dari spesimen diperoleh dengan memberikan pembebanan dinamis pada spesimen uji dengan nominal serupa, adapun jumlah umur lelah hingga spesimen uji mengalami putus terlihat pada aplikasi pengatur *servo controller* di komputer, seperti terlihat pada Gambar 6.

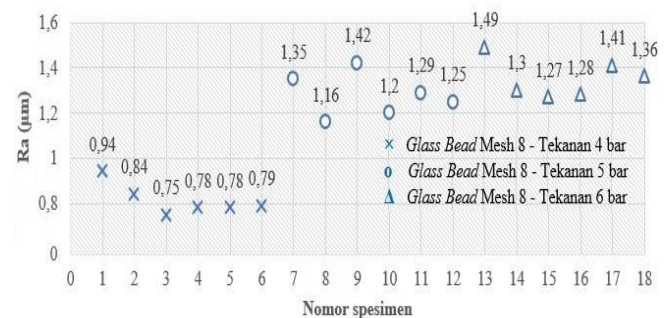
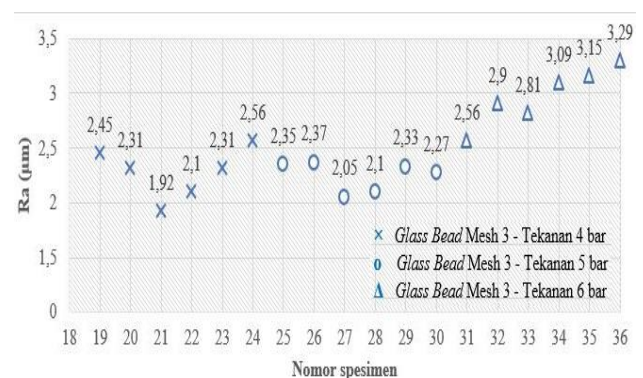
Gambar 6. Jumlah pembebanan berulang pada aplikasi *servo controller*

Pengujian lelah menggunakan pembebanan berulang, dengan tegangan maksimum sebesar 555,5 MPa pada spesimen uji untuk pengujian lelah siklus rendah. Pengujian lelah siklus rendah dilakukan pada spesimen uji dengan memberikan pembebanan berulang dengan rasio, $R = 0,1$; sehingga didapatkan beban minimal sebesar 5 kN dan beban maksimal sebesar 50 kN, dengan frekuensi 20 Hz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekasaran permukaan setelah proses permesinan pada spesimen

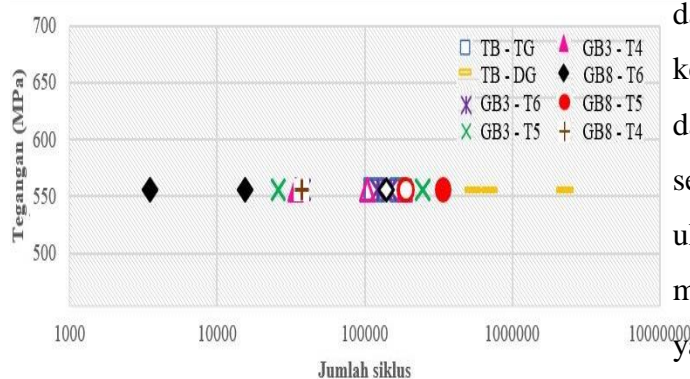
uji, menunjukkan rentang nilai R_a yang terlalu jauh ($2,05 \mu\text{m}$ hingga $9,08 \mu\text{m}$), sehingga dilakukan proses *grinding* secara bertahap dengan kertas abrasif Mesh 80, Mesh 120, Mesh 150, dan Mesh 240 selama 20 menit hingga setiap spesimen uji memiliki nilai kekasaran permukaan yang berdekatan ($0,46 \mu\text{m}$ hingga $0,7 \mu\text{m}$). Hasil pengujian kekasaran permukaan pada spesimen uji setelah menjalani proses *sand-blasting*, terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3. Hasil pengujian nilai kekasaran permukaan setelah proses *sand-blasting*Gambar 4. Hasil pengujian nilai kekasaran permukaan setelah proses *sand-blasting*

Dari hasil pengujian kekasaran permukaan setelah proses *sand-blasting*, didapatkan perubahan nilai kekasaran

permukaan, R_a , setelah spesimen uji mengalami proses *sand-blasting*. Didapatkan nilai R_a terkecil pada spesimen uji nomor 1-6 dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 dan tekanan penyemprotan 4 bar serta nilai R_a terbesar pada spesimen uji nomor 31-36 dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 3 dan tekanan penyemprotan 6 bar. Peningkatan nilai kekasaran permukaan cenderung senilai dengan peningkatan ukuran butir *glass bead* dari ukuran butir halus (Mesh 8) menjadi ukuran butir kasar (Mesh 3) dan peningkatan tekanan penyemprotan material abrasif. Perubahan nilai kekasaran permukaan akibat proses *sand-blasting* sebagai akibat bentuk deformasi plastis pada permukaan material yang secara langsung bertumbukan dengan material abrasif dalam tegangan tekan [10].

Dari hasil pengujian lelah, didapatkan data umur lelah seperti pada Gambar 7.



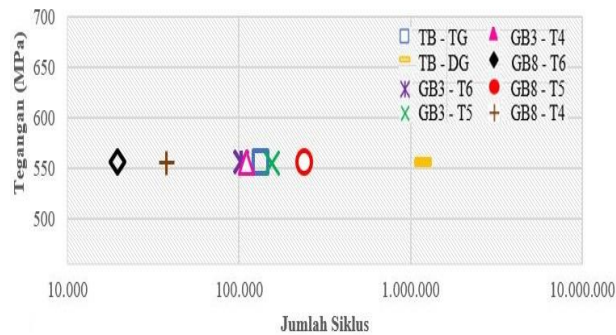
Gambar 7. Umur lelah hasil pengujian pada siklus rendah

Perlu diperhatikan bahwa kurva S-N pada Gambar 7. merupakan hasil pengujian keseluruhan spesimen uji hasil proses *sand-blasting* (ditandai dengan notasi $G_{\text{lass}}B_{\text{ead}} X -$

Tekanan x), spesimen uji yang telah di *grinding* (ditandai dengan notasi $T_{\text{idak}}B_{\text{lasting}} - D_{\text{engan}}G_{\text{rinding}}$) dan spesimen uji dengan permukaan proses *hot-rolling* (ditandai dengan notasi $T_{\text{idak}}B_{\text{lasting}} - T_{\text{idak}}G_{\text{rinding}}$). Terlihat pada kurva S-N bahwa spesimen uji yang telah melalui proses *grinding* memiliki umur lelah yang lebih baik apabila dibandingkan dengan spesimen uji dengan permukaan hasil proses *hot-rolling*. Untuk spesimen uji yang telah diproses *sand-blasting* dengan variasi ukuran butir dan tekanan penyemprotan material abrasif, didapatkan umur lelah tertinggi pada kelompok spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 dan tekanan penyemprotan 5 bar dan umur lelah terendah pada kelompok spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 dan tekanan penyemprotan 6 bar.

Selanjutnya dilakukan pengolahan data dan analisis mengenai hubungan nilai kekasaran permukaan terhadap umur lelah dari spesimen uji hingga mengalami putus, sehingga diketahui pengaruh serta variasi ukuran butir dan tekanan penyemprotan material abrasif dalam proses *sand-blasting* yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan dan umur lelah yang optimal. Data umur lelah yang digunakan dalam analisis bersumber dari plot rata-rata umur lelah hasil pengujian, hal serupa dengan data nilai kekasaran permukaan yang merupakan hasil rata-rata dari kelompok spesimen uji

dengan perlakuan yang sama. Adapun data rata-rata nilai kekasaran permukaan dan plot rata-rata umur lelah hasil pengujian dan terlihat pada Gambar 8 dan Tabel 1.



Gambar 8. Rata-rata umur lelah hasil pengujian pada siklus rendah

Tabel 1. Rata-rata nilai kekasaran permukaan

Nomor	Variabel	Ra (μm)
1 - 6	GB8-T4	0,81
7 - 12	GB8-T5	1,27
13 - 18	GB8-T6	1,35
19 - 24	GB3-T4	2,27
25 - 30	GB3-T5	2,24
31 - 36	GB3-T6	2,96
37 - 42	TB-DG	0,60
43 - 45	TB-TG	5,06

Pada pengujian lelah di spesimen uji yang tidak mengalami proses *sand-blasting*, diperoleh umur lelah tertinggi terjadi pada spesimen uji yang mengalami proses *grinding* dan umur lelah spesimen uji dengan permukaan hasil proses *hot-rolling* berada di bawah umur lelah spesimen yang mengalami proses *grinding*; tepatnya umur lelah berada di antara spesimen uji yang mengalami proses *sand-blasting* dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 3 – tekanan

penyemprotan 4 bar dan variasi ukuran *glass bead* Mesh 3 – tekanan penyemprotan 5 bar. Melihat pada nilai kekasaran permukaan rata-rata dari spesimen uji yang memiliki permukaan hasil *hot-rolling* dan spesimen uji yang mengalami proses *grinding* masing-masing memiliki nilai *Ra* sebesar 5,06 μm dan 0,60 μm . Apabila rata-rata nilai kekasaran permukaan dihubungkan dengan umur lelah masing-masing spesimen uji, terbukti bahwa umur lelah pada material menurun seiring dengan peningkatan nilai kekasaran permukaan.

Pada pengujian lelah di spesimen uji yang mengalami proses *sand-blasting*, didapatkan umur lelah tertinggi pada spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 – tekanan penyemprotan 5 bar dan umur lelah terendah terjadi pada spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 – tekanan penyemprotan 6 bar. Apabila rata-rata nilai kekasaran permukaan spesimen uji yang mengalami proses *sand-blasting* dihubungkan dengan umur lelah masing-masing spesimen uji, terjadi ketidaksesuaian hasil pengujian; umur lelah pada material tidak senilai dengan peningkatan nilai kekasaran permukaan. Umur lelah tertinggi didapatkan pada spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 – tekanan penyemprotan 5 bar yang memiliki nilai kekasaran permukaan lebih tinggi dari spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 – tekanan

penyemprotan 4 bar (1,27 μm dibandingkan dengan 0,81 μm). Umur lelah terendah didapatkan pada spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 – tekanan penyemprotan 6 bar yang memiliki nilai kekasaran permukaan lebih rendah apabila dibandingkan dengan spesimen uji dengan variasi ukuran *glass bead* Mesh 3 – tekanan penyemprotan 6 bar (1,35 μm dibandingkan dengan 2,96 μm).

KESIMPULAN

Berdasarkan kaji eksperimental, didapatkan hasil sebagai berikut.

- a. Proses *sand-blasting* menurunkan nilai kekasaran permukaan hingga 4,25 μm apabila dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan hasil *hot-rolling* dan meningkatkan nilai kekasaran permukaan hingga 2,36 μm apabila dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan setelah proses *grinding*.
- b. Proses *sand-blasting* dapat meningkatkan umur lelah *stainless steel* AISI 304 hingga 44%.
- c. Variasi ukuran *glass bead* Mesh 8 dengan tekanan penyemprotan material abrasif sebesar 5 bar menghasilkan nilai kekasaran permukaan dan umur lelah yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak *Iron Works Sand-Blasting*

yang telah mendukung terlaksananya proses *sand-blasting* dalam penelitian ini dan segenap pegawai PTKRN-BATAN yang telah mengizinkan penggunaan fasilitas pengujian lelah hingga terlaksananya eksperimental ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. SLĂTINEANU L, POTĂRNICHE Ș, COTEAȚĂ M, GRIGORAȘ (BEȘLIU) I, GHERMAN L, NEGOESCU F. Surface Roughness At Aluminium Parts Sand Blasting. *Proc Manuf Syst.* 2011;6(2):69-74.
2. WIDIYARTA IM, PARWATA IM, PUTU I. Kekasaran Permukaan Baja Karbon Sedang Akibat Proses Sand-Blasting dengan Variasi Jarak Nosel. *Energi Dan Manufaktur.* 2014;7:179-182.
3. Study C. OSKARSHAMN NUCLEAR. 1994:1-4.
4. CALLISTER W, RETHWISCH D. *Materials Science and Engineering: An Introduction.* Vol 94.; 2007. doi:10.1016/0025-5416(87)90343-0
5. U .S. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION, AND WELFARE. *Abrasive Blasting Operations; Engineering Control and Work Practices Manual.* 2 0402. 1976;(March).
6. TALATI J. Surface Roughness – Significance and symbol interpretation

- in drawing.
http://www.hexagondesign.net/images/pdf/surface_roughness_jigar_talati.pdf.
7. BAYOUMI MR, ABDELLATIF AK. Effect of surface finish on fatigue strength. *Eng Fract Mech.* 1995;51(5):861-870. doi:10.1016/0013-7944(94)00297-U
 8. ASTM. Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials. *Test.* 2002;03(Reapproved):4-8. doi:10.1520/E0466-07.2
 9. MITUTOYO. Quick Guide to Precision Measuring Instruments. 2003;11003(2):2003. doi:10.1016/j.prosdent.2016.02.019
 10. JABBAR MA, IBRAHIM ZA. Enhancement of Fatigue Strength of 316L Austenitic Stainless Steel using Sand Blasting. 2015;5(1):371-374.