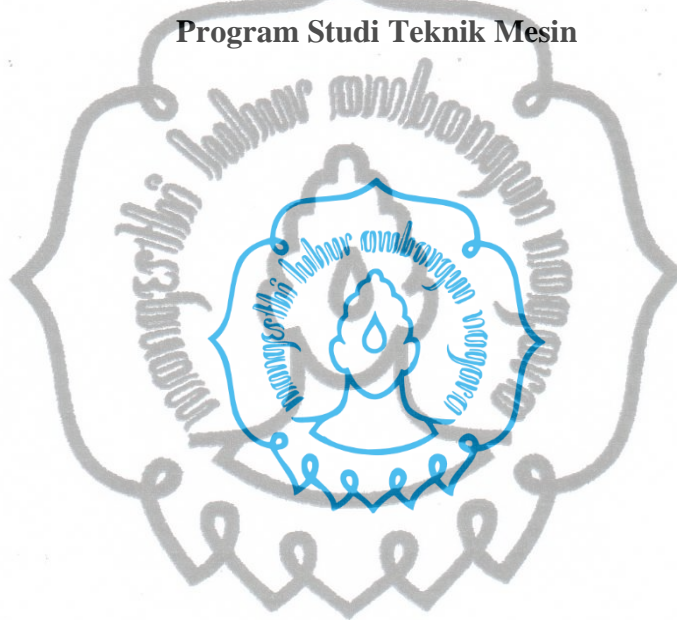


**PENGARUH *SURFACE ROUGHNESS* DAN *OVERLAP LENGTH* TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN TABUNG ROKET KOMPOSIT (GFRP) DAN CAP ALUMINIUM DENGAN ADHESIF EPOKSI/SERBUK ALUMINIUM**

**TESIS**

**Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Teknik Mesin**



**Oleh**

**LASINTA ARI NENDRA WIBAWA**

**S951802001**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

*commit to user*  
**2020**

**PENGARUH *SURFACE ROUGHNESS* DAN *OVERLAP LENGTH* TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN TABUNG ROKET KOMPOSIT (GFRP) DAN CAP ALUMINIUM DENGAN ADHESIF EPOKSI/SERBUK ALUMINIUM**

**TESIS**

Oleh

**Lasinta Ari Nendra Wibawa**

**S951802001**

Komisi  
Pembimbing

Nama

Tanda  
Tangan

Tanggal

Pembimbing I Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.  
NIP. 197101031997021001 11 Juni 2020

Pembimbing II Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T.  
NIP. 196807101991101001 11 Juni 2020

**Telah dinyatakan memenuhi syarat**

**Pada tanggal 11 Juni 2020**

Kepala Program Studi Magister Teknik Mesin  
Universitas Sebelas Maret



Dr. Zainal Arifin, S.T., M.T.  
NIP. 197303082000031001

*commit to user*

**PENGARUH *SURFACE ROUGHNESS* DAN *OVERLAP LENGTH* TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN TABUNG ROKET KOMPOSIT (GFRP) DAN CAP ALUMINIUM DENGAN ADHESIF EPOKSI/SERBUK ALUMINIUM**

**TESIS**

Oleh

Lasinta Ari Nendra Wibawa

S951802001

Telah dipertahankan di depan penguji  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
pada tanggal 11 Juni 2020

Tim Penguji:

Jabatan

Nama

Tanda Tangan

Ketua

Dr. Zainal Arifin, S.T., M.T.  
NIP. 197303082000031001

Sekretaris

Dody Ariawan, S.T., M.T., PhD.  
NIP. 197308041999031003

Anggota  
Penguji

Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.  
NIP. 197101031997021001

Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T.  
NIP. 196810041999031002

Mengetahui:



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sebelas Maret

Dr. Techn. Ir. Sholihin As'ad, M.T.  
NIP. 19671001 199702 1 001

Ketua Program Studi

Magister Teknik Mesin

Dr. Zainal Arifin, S.T., M.T.  
NIP. 197303082000031001

**PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul : **“Pengaruh *Surface Roughness* dan *Overlap Length* terhadap Kekuatan Sambungan Tabung Roket Komposit (GFRP) dan Cap Aluminium dengan Adhesif Epoksi/Serbuk Aluminium”** ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi Tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan PPs UNS sebagai institusinya. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, 11 Juni 2020

Mahasiswa.



**Lasinta Ari Nendra Wibawa**

**S951802001**



**Lasinta Ari Nendra Wibawa. S951802001. Pengaruh *Surface Roughness* dan *Overlap Length* terhadap Kekuatan Sambungan Tabung Roket Komposit (GFRP) dan Cap Aluminium dengan Adhesif Epoksi/Serbuk Aluminium.** Pembimbing I: Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T. Pembimbing II: Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T. Tesis: Program Studi Magister Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret Surakarta

### ABSTRAK

Abstrak. Penggantian Aluminium 6061 dengan komposit untuk tabung motor roket menghasilkan masalah baru, terutama sambungan dengan cap (Al 6061). Sambungan yang awalnya menggunakan baut tidak lagi relevan untuk menghubungkan dua bahan yang berbeda. Permasalahan ini dapat diatasi dengan metode penyambungan menggunakan adhesif yang dapat menyambungkan dua material yang berbeda jenis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *surface roughness* dan *overlap length* terhadap kekuatan sambungan tabung roket komposit (GFRP) dan cap (Al 6061) dengan adhesif epoksi/serbuk aluminium. *Surface roughness* divariasikan menggunakan kertas amplas dengan ukuran *grit* 40, 80, 120, dan 150. *Overlap length* divariasikan 10, 15, 20, dan 25 mm. Hasil pengujian kekuatan hidrostatik menunjukkan bahwa semakin besar *overlap length*, semakin besar kekuatan hidrostatik sambungan. Hal ini dikarenakan sambungan dengan *overlap length* yang semakin besar memiliki luas kontak yang semakin besar pula, sehingga sambungan tersebut mampu menahan beban geser yang lebih besar. Semakin tinggi *surface roughness* maka kekuatan hidrostatik sambungan semakin besar. Peningkatan kekuatan hidrostatik terjadi karena peningkatan *surface roughness* yang mampu memperluas area kontak pada lapisan adhesif, memberikan tambahan *mechanical interlocking* antarmuka, dan meningkatkan *irregularities* pada permukaan *adherend*. Namun, pada *surface roughness* kertas amplas *grit* 80 dan *grit* 40, kekuatan hidrostatik sambungan menurun. Hal ini disebabkan *surface roughness* yang terlalu tinggi dapat merugikan karena meningkatkan sudut kontak sehingga dipersitas semakin menurun yang berakibat pada energi permukaan dan keterbasahan yang juga menurun. Kekuatan hidrostatik sambungan yang paling tinggi adalah 5,0 MPa pada sambungan dengan pemolesan permukaan dengan kertas amplas *grit* 120.

**Kata kunci:** hidrostatik, *overlap length*, sambungan adhesif, *surface roughness*, komposit

---

**Lasinta Ari Nendra Wibawa. S951802001. Effect of Surface Roughness and Overlap Length on Adhesive Joint Strength of Composite Rocket Case (GFRP) and Aluminium Cap with Epoxy Adhesive/Aluminium Powder.** Main Advisor: **Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.** Second Advisor: **Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T.** Tesis: Master Program of Mechanical Engineering. Engineering Faculty. Universitas Sebelas Maret.

### ABSTRACT

Abstract. The replacement of the Aluminium 6061 with composite for solid rocket motor case produced new problems, especially in joining with a cap (Al 6061). The joint that initially used bolts was not relevant to join dissimilar materials. However, this problem can be overcome by using adhesive bonding. The study aims to determine the effect of overlap length and surface roughness on the hydrostatic strength of composite rocket motor case (GFRP) and cap (Al 6061) joint with epoxy adhesive/Aluminium powder. Surface roughness is varied using grit sandpaper 40, 80, 120, and 150. The overlap length is varied 10, 15, 20, and 25 mm. Hydrostatic strength test results show that the greater the overlap length, the higher the hydrostatic strength of the adhesive bonding. The greater the overlap length, the adhesive bonding can more support the load due to the higher surface contact area between the adhesive and the adherend on the joint so that the shear area will be wider. The higher the surface roughness, the greater the hydrostatic strength of the adhesive bonding. The increase in hydrostatic strength occurs due to increased surface roughness, which can expand the contact area in the adhesive layer, provide additional mechanical interlocking interfaces, and increase irregularities on the adherend surface. However, on the surface roughness of grit 80 and grit 40 sandpaper, the joint hydrostatic strength decreases. The surface roughness that is too high can be detrimental because it increases the contact angle so that the dispersion decreases resulting in decreased surface energy and wetting. The highest joint hydrostatic strength is 5.0 MPa on the joint with surface polishing with 120 grit sandpaper.

**Keywords:** hydrostatic, overlap length, adhesive joint, surface roughness, composite

## PRAKATA

Segala puji saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kelimpahan rahmat dan hidayah-Nya hingga saya masih diberikan kesempatan untuk sedikit berbuat baik. Tak lupa salam tercurah untuk Nabi Muhammad SAW yang senantiasa mengingat kita sekalipun dalam kondisi hidup yang maha pelik.

Akhirnya, pada bulan Juni tahun 2020 ini penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini dengan lancar dan tanpa halangan. Saya yakin semua ini atas kuasa dari Tuhan. Penyusunan Tesis ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan Magister Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Tesis ini diharapkan dapat menambah wawasan di bidang penyambungan material menggunakan adhesif.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang selalu membimbing dan memotivasi selama menyelesaikan Tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Wijang Wisnu Raharjo, M.T., selaku dosen pembimbing II yang tak lelah memberikan masukan penulis dalam menyempurnakan Tesis ini.
3. Bapak Dr. Zainal Arifin, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Dody Ariawan, S.T., M.T., PhD., selaku dosen penguji II.
4. Bapak Dr. Zainal Arifin, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
5. Kedua orang tua: Sugita, Amd. dan Sri Sadarsinah, S.Pd.I. kakak Ginting Prasetya Enka Nur Cahya, S.E. serta adik Herwit Daya Tani, S.Kep. dan Febrian Ardik Alamanda yang selalu mendukung untuk terus maju.
6. Istriku Kinanthi Anggraini, M.Pd. dan anak-anakku: Arkan Dirgantara Wibawa dan Prisha Naraya Wibawa, yang selalu membersamai dalam segala hal sehingga penulis diberi kelancaran untuk menyelesaikan tesis ini.

Surakarta, Juni 2020

Penulis

*commit to user*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Kebaruan Penelitian .....	2
C. Rumusan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	3
E. Manfaat Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
A. Landasan Teori .....	4
1. Roket dan komponennya .....	4
2. Beberapa metode untuk meningkatkan kekuatan sambungan adhesif .....	5
3. Adhesif .....	6
4. Komposit GFRP .....	9
5. Aluminium .....	9
6. <i>Surface roughness</i> .....	10
7. <i>Overlap length</i> .....	12
8. Pengujian hidrostatik .....	13
B. Kerangka Berpikir .....	15
C. Hipotesis .....	15
BAB III. METODE PENELITIAN .....	16
A. Tempat Penelitian .....	16
B. Bahan dan Alat Penelitian .....	16
C. Tatalaksana Penelitian .....	21

*commit to user*



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	24
A. Hasil Penelitian .....	24
1. Pengaruh <i>overlap length</i> terhadap kekuatan hidrostatik .....	24
2. Pengaruh <i>overlap length</i> terhadap tegangan <i>von Mises</i> dan tegangan geser maksimum .....	25
3. Pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap kekuatan hidrostatik .....	31
4. Pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap tegangan <i>von Mises</i> dan tegangan geser maksimum .....	34
5. Pengamatan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	35
B. Pembahasan .....	37
C. Nilai-nilai Kebaruan .....	39
D. Keterbatasan Penelitian .....	39
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	40
A. Kesimpulan .....	40
B. Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42
LAMPIRAN .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen-komponen utama Roket R-Han 122.....	4
Gambar 2.2 Mode kegagalan adhesif dan kohesif. ....	7
Gambar 2.3 Mode kegagalan sambungan adhesif.....	8
Gambar 2.4 Ilustrasi skematis dari kekuatan ikatan adhesif sebagai kombinasi dari tiga faktor .....	10
Gambar 2.5 Foto dan skema yang menunjukkan pemisahan permukaan air dari permukaan hidrofilik (atas) dan hidrofobik (bawah) .....	12
Gambar 2.6 Pengaruh <i>overlap length</i> terhadap beban kegagalan menggunakan adhesif ulet ( <i>ductile adhesive</i> ) dan rapuh ( <i>brittle adhesive</i> ) .....	13
Gambar 2.7 Distribusi tegangan pada silinder berdinding tebal yang mengalami tekanan dalam .....	14
Gambar 3.1 Tabung roket yang terbuat dari komposit GFRP. ....	16
Gambar 3.2 Cap aluminium dengan <i>overlap length</i> 25 mm. ....	17
Gambar 3.3 Adhesif epoksi.....	18
Gambar 3.4 Serbuk aluminium. ....	18
Gambar 3.5 Mesin <i>roll lay-up</i> .....	19
Gambar 3.6 Alat uji kekuatan sambungan. ....	20
Gambar 3.7 Desain spesimen 2D untuk pengujian kekuatan sambungan dengan variasi <i>overlap length</i> 25 mm. ....	21
Gambar 3.8 Desain spesimen 3D untuk pengujian kekuatan sambungan dengan variasi <i>overlap length</i> 25 mm. ....	22
Gambar 3.9 Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 4.1 Pengaruh <i>overlap length</i> terhadap kekuatan hidrostatik. ....	24
Gambar 4.2 Lokasi kebocoran sambungan tabung roket GFRP dan cap aluminium. ....	25
Gambar 4.3 Distribusi tegangan pada silinder berdinding tebal (Khurmi dan Gupta, 2005). ....	26
Gambar 4.4 Desain silinder berdinding tebal dengan <i>overlap length</i> 10 mm.....	27
Gambar 4.5 Bagian satu per delapan dari silinder dengan <i>overlap length</i> 10 mm. ....	27
Gambar 4.6 Kondisi batas: (a) jenis <i>constraint</i> dan (b) kondisi pembebanan .....	28

Gambar 4.7 (a) Tegangan <i>von Mises</i> maksimum dan (b) tegangan geser maksimum untuk variasi <i>overlap length</i> 10 mm dengan tekanan internal 1,80 MPa. ....	29
Gambar 4.8 Pengaruh <i>overlap length</i> terhadap tegangan <i>von Mises</i> dan tegangan geser maksimum. ....	30
Gambar 4.9 (a) Tegangan <i>hoop</i> maksimum dan (b) tegangan <i>axial</i> maksimum untuk variasi <i>overlap length</i> 10 mm dengan tekanan internal 1,80 MPa. ....	30
Gambar 4.10 Pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap kekuatan hidrostatik. ....	32
Gambar 4.11 Pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap tegangan <i>von Mises</i> maksimum. ....	35
Gambar 4.12 Pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap tegangan geser maksimum. ....	35
Gambar 4.13 Ilustrasi pemotongan spesimen yang ditunjukkan oleh garis warna merah putus-putus. ....	36
Gambar 4.14 Hasil pemotongan spesimen untuk pengamatan SEM. ....	36
Gambar 4.15 Hasil SEM permukaan sambungan antara Aluminium 6061 dengan adhesif pada <i>surface roughness</i> a. P40, b. P80, c. P120, dan d. P150. ....	37
Gambar 4.16 Void pada adhesif epoksi-aluminium <i>fine powder</i> . ....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabulasi spesimen sambungan <i>Tubular Lap Joint</i> (TLJ).....	21
Tabel 4.1 Parameter <i>Input</i> .....	28
Tabel 4.2 Perbandingan tegangan <i>hoop</i> ( <i>circumferential</i> ) dan longitudinal ( <i>axial</i> ) maksimum antara perhitungan analitik dan simulasi elemen hingga.....	31
Tabel 4.3 Nilai <i>surface roughness</i> dari <i>adherend</i> . ....	32
Tabel 4.4 Anova: <i>Two-Factor without Replication</i> . ....	38





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengadukan resin Yukalac 157 dan ATH.....	46
Lampiran 2. Proses pembuatan tabung komposit serat gelas (GFRP) .....	46
Lampiran 3. Hasil pembuatan tabung komposit serat gelas (GFRP) .....	47
Lampiran 4. Pemotongan tabung komposit sesuai dimensi spesimen uji.....	47
Lampiran 5. Cap aluminium 6061. ....	48
Lampiran 6. Spesimen uji dengan variasi <i>overlap length</i> .....	48
Lampiran 7. Proses penyambungan adhesif epoksi/serbuk aluminium. ....	49
Lampiran 8. Kertas amplas merk Norton grid 40, 80, 120, dan 150.....	49
Lampiran 9. Proses pengukuran <i>surface roughness adherend</i> .....	50
Lampiran 10. Tabel nilai <i>surface roughness</i> dari <i>adherend</i> Al 6061. ....	50
Lampiran 11. Tabel nilai <i>surface roughness</i> dari <i>adherend</i> GFRP .....	50
Lampiran 12. Tabel pengaruh <i>overlap length</i> terhadap kekuatan hidrostatik.....	51
Lampiran 13. Tabel pengaruh <i>surface roughness</i> terhadap kekuatan hidrostatik .....	51
Lampiran 14. Hasil SEM sambungan adhesif dengan kertas amplas grid 40.....	52
Lampiran 15. Hasil SEM sambungan adhesif dengan kertas amplas grid 80.....	53
Lampiran 16. Hasil SEM sambungan adhesif dengan kertas amplas grid 120.....	54
Lampiran 17. Hasil SEM sambungan adhesif dengan kertas amplas grid 150.....	55