

SKRIPSI

**PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN DIAMETER MATA BOR
TERHADAP DELAMINASI PADA PENGEBORAN MATERIAL
CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)
TERMODIFIKASI SILIKA ABU SEKAM PADI**



REZA REVITA ZAHRA

1518620029

PROGRAM STUDI REKAYASA KESELAMATAN KEBAKARAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Kecepatan Spindel dan Diameter Mata Bor
Terhadap Delaminasi Pada Pengeboran Material
Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)
Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi

Penyusun : Reza Revita Zahra

NIM : 1518620029

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Himawan Hadi Sutrisno, M.T.

NIP. 198105052008121002

Pembimbing II



Dr. Siska Titik Dwiyanti, M.T.

NIP. 197812122006042002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran
Universitas Negeri Jakarta



Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D.

NIP. 197102232006041001

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Kecepatan Spindel dan Diameter Mata Bor Terhadap Delaminasi Pada Pengeboran Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi

Penyusun : Reza Revita Zahra

NIM : 1518620029

Tanggal Ujian : 6 Januari 2026

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Dr. Himawan Hadi Sutrisno, M.T.
NIP. 198105052008121002

Pembimbing II,



Dr. Siska Titik Dwiyantri, M.T.
NIP. 197812122006042002

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi:

Ketua Penguji,



Dr. Ir. Triyono, S.T., M.Eng.
NIP. 197508162009121001

Anggota Penguji I,



Ir. Waradzi Mustakim, M.Pd.T.
NIP. 199606292025061006

Anggota Penguji II,



Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D.
NIP. 197102232006041001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Rekayasa Keselamatan Kebakaran



Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D.
NIP. 197102232006041001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 06 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Reza Revita Zahra

No. Reg. 1518620029



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : REZA REVITA ZAHRA
NIM : 1518620029
Fakultas/Prodi : TEKNIK / S-1 REKAYASA KESELAMATAN KEBAKARAN
Alamat email : reza.revita00@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PENGARUH KECEPATAN SPINDEL DAN DIAMETER MATA BOR TERHADAP

DELAMINASI PADA PENGEBORAN MATERIAL CARBON FIBER REINFORCED

POLYMER (CFRP) TERMODIFIKASI SILIKA ABU SEKAM PADI

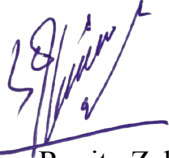
Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 17 Januari 2026

Penulis


(Reza Revita Zahra)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Kecepatan Spindel dan Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi pada Pengeboran Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai kendala dan tantangan, baik dalam tahap perancangan eksperimen, pengambilan data, hingga proses analisis dan penulisan. Oleh karena itu, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta dan kakak penulis, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tiada henti.
2. Bapak Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran dan Dosen Pembimbing Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Himawan Hadi Sutrisno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Pengajar pada Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran.
6. Yasmin Madaniah, Nurfitriani Kharismadewi, Ishmah Zakin Alya, Putra Nirhamsyah, dan Thoriq Abdansyakuro sebagai rekan satu bimbingan penulis yang selalu memberikan dukungan dan berjuang bersama.
7. Bimo Septio Wibisono, Redinda Permata Andrianto, dan Aulia Anggita Pramesti sebagai teman seperjuangan penulis selama masa perkuliahan hingga saat ini.
8. Sakira Maulida, teman penulis sejak Sekolah Menengah Atas, yang selalu berjuang bersama dan memberi dukungan dalam keadaan apapun.

9. Teman-teman seperjuangan, yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta semangat selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
10. Terakhir, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada diri sendiri, Reza Revita Zahra. Terima kasih atas kesediaan untuk tetap melangkah di tengah keraguan, bertahan melewati malam-malam yang melelahkan, dan mengubah setiap ketakutan menjadi keberanian. Apresiasi terbesar untuk hati yang senantiasa belajar ikhlas dan jiwa yang menolak untuk menyerah pada keadaan. Semoga kedepannya, hati, jiwa, dan raga ini tetap kuat dan lapang dalam menghadapi setiap proses kehidupan. Mari terus bekerja sama untuk tumbuh dan berkembang menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

Jakarta, 30 Desember 2025



Reza Revita Zahra



Pengaruh Kecepatan Spindel Dan Diameter Mata Bor Terhadap Delaminasi Pada Pengeboran Material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi

Reza Revita Zahra

Dosen Pembimbing : Dr. Himawan Hadi Sutrisno, M.T. dan Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan spindel dan diameter mata bor terhadap delaminasi pada pengeboran material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang dimodifikasi dengan silika hasil ekstraksi abu sekam padi. Material komposit CFRP termodifikasi ini memiliki peningkatan ketahanan termal dan sifat mekanis berdasarkan penelitian sebelumnya, namun kajian mengenai responsnya terhadap parameter pemrosesan masih terbatas. Proses pengeboran dilakukan menggunakan mesin bor duduk dengan mata bor tipe *Brad Spur* berdiameter 4 mm, 6 mm, dan 8 mm serta variasi kecepatan spindel 1190 rpm, 1970 rpm, dan 2100 rpm. Delaminasi dianalisis pada dua mode kerusakan di delaminasi, yaitu delaminasi sisi masuk (*Peel-up*) dan delaminasi sisi keluar (*Push-out*). Pengolahan data menggunakan metode Taguchi dengan *Orthogonal Array* L9 serta *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk menentukan pengaruh signifikan setiap faktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter mata bor berpengaruh signifikan terhadap delaminasi *Peel-up*, sementara kecepatan spindel tidak berpengaruh signifikan. Pada sisi *Push-out*, kedua faktor tidak menunjukkan pengaruh signifikan, namun analisis S/N rasio menunjukkan kecenderungan pola kerusakan tertentu. Parameter optimum untuk meminimalkan delaminasi sisi masuk adalah diameter 4 mm – 2100 rpm, sedangkan untuk sisi keluar adalah diameter 8 mm – 2100 rpm. Temuan ini menegaskan perlunya pemilihan parameter yang seimbang untuk kualitas lubang yang lebih baik.

Kata Kunci: CFRP, abu sekam padi, delaminasi, Taguchi, ANOVA

The Effect of Spindle Speed and Drill Bit Diameter on Delamination in Drilling Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Material Modified with Silica and Rice Husk Ash

Reza Revita Zahra

Dosen Pembimbing : Dr. Himawan Hadi Sutrisno, M.T. dan Dr. Siska Titik

Dwiyati, M.T

ABSTRACT

This study investigates the effect of spindle speed and drill bit diameter on delamination during the drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) modified with silica extracted from rice husk ash. Although previous studies have shown that silica-modified CFRP exhibits improved thermal and mechanical properties, research on its machining response remains limited. Drilling experiments were performed using a bench drilling machine with Brad Spur drill bits of 4 mm, 6 mm, and 8 mm diameters, combined with spindle speeds of 1190 rpm, 1970 rpm, and 2100 rpm. Delamination was evaluated in two damage modes: Peel-up (entry side) and Push-out (exit side). Data were analyzed using the Taguchi method with an L9 Orthogonal Array and Analysis of Varians (ANOVA) to determine the significance of each factor. The results indicate that drill bit diameter significantly affects Peel-up delamination, while spindle speed has no significant effect. For Push-out delamination, both factors were statistically insignificant, although S/N ratio analysis revealed specific trends in damaged behaviour. The optimal parameters for minimizing Peel-up delamination were identified as a 4 mm drill bit with spindle speed of 2100 rpm, while the optimal conditions for reducing Push-out delamination were an 8 mm drill bit at 2100 rpm. These findings emphasize the importance of selecting balanced machining parameters to achieve better overall hole quality.

Keywords: CFRP, rice husk ash, delamination, Taguchi method, ANOVA.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Material Komposit CFRP.....	6
2.1.2 Proses Pemesinan.....	12
2.1.3 Proses Gurdi (<i>Drilling</i>)	14
2.1.4 Mesin Bor Duduk.....	16
2.1.5 Parameter Pemesinan pada Pengeboran CFRP	18
2.1.6 Delaminasi.....	20
2.1.7 Metode Taguchi.....	22
2.1.8 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	25

2.2	Penelitian Terdahulu.....	26
2.3	Kerangka Pemikiran.....	28
2.4	Hipotesis Penelitian.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian.....	29
3.2	Populasi dan Sampel Penelitian.....	29
3.2.1	Populasi Penelitian.....	29
3.2.2	Sampel Penelitian.....	29
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.4	Metode, Rancangan dan Prosedur Penelitian.....	32
3.4.1	Metode Penelitian.....	32
3.4.2	Prosedur Penelitian.....	32
3.5	Instrumen Penelitian.....	33
3.5.1	Alat Penelitian.....	33
3.5.2	Bahan Penelitian.....	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Deskripsi Data Hasil Penelitian.....	37
4.2	Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Delaminasi.....	38
4.2.1	Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Delaminasi <i>Peel-up</i>	38
4.2.2	Pengaruh Kecepatan Spindel terhadap Delaminasi <i>Push-out</i>	40
4.3	Pengaruh Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi.....	42
4.3.1	Pengaruh Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi <i>Peel-up</i>	42
4.3.2	Pengaruh Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi <i>Push-out</i>	44
4.4	Pembahasan.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	59
RIWAYAT HIDUP	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Serat Karbon	9
Tabel 2. 2 Kandungan kimia abu sekam padi	12
Tabel 2. 3 Pemilihan Orthogonal Array berdasarkan jumlah faktor dan level.....	24
Tabel 2. 4 Peneliti terdahulu.....	26
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan - Taguchi L9	29
Tabel 4. 1 faktor dan level percobaan	37
Tabel 4. 2 Data faktor delaminasi (Fd) <i>Peel-up</i> dan <i>Push-out</i>	38
Tabel 4. 3 Nilai S/N rasio Delaminasi <i>Peel-up</i> pada setiap Level Kecepatan Spindel.....	38
Tabel 4. 4 Hasil ANOVA Kecepatan Spindel pada Delaminasi <i>Peel-up</i>	40
Tabel 4. 5 Nilai S/N rasio Delaminasi <i>Push-out</i> pada setiap Level Kecepatan Spindel.....	40
Tabel 4. 6 Hasil ANOVA Delaminasi <i>Push-out</i> Kecepatan Spindel	41
Tabel 4. 7 Nilai S/N rasio Delaminasi <i>Peel-up</i> pada setiap Level Diameter Mata Bor	42
Tabel 4. 8 Hasil ANOVA Delaminasi <i>Peel-up</i> Diameter Mata Bor	43
Tabel 4. 9 Nilai S/N rasio Delaminasi <i>Push-out</i> pada setiap Level Diameter Mata Bor	44
Tabel 4. 10 Hasil ANOVA Delaminasi <i>Push-out</i> Diameter Mata Bor	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Bahan Komposit	6
Gambar 2. 2 Selama Fase Pengerasan, Termoset Saling Berikatan Untuk	9
Gambar 2. 3 Bentuk Serat	10
Gambar 2. 4 Skema Susunan Laminasi Dan Orientasi Serat Dalam Laminasi	11
Gambar 2. 5 Jenis Proses Pemesinan	14
Gambar 2. 6 Proses Gurdi (<i>Drilling</i>)	14
Gambar 2. 7 Model Pemotongan Untuk Mata Bor <i>Brad-Spur</i>	16
Gambar 2. 8 Bagian-Bagian Mesin Bor Duduk	18
Gambar 2. 9 Berbagai Kerusakan Pengeboran CFRP	18
Gambar 2. 10 Skema Faktor Delaminasi (Fd)	21
Gambar 2. 11 Mekanisme Delaminasi Akibat Pengeboran Pada Laminasi Komposit	22
Gambar 2. 12 Pecahan Lubang Komposit.....	22
Gambar 2. 13 Kerangka Berpikir	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Mesin Bor Duduk	33
Gambar 3. 3 Mata Bor <i>Brad Spur</i>	33
Gambar 3. 5 <i>Chuck Key</i>	34
Gambar 3. 6 <i>Clamp</i>	34
Gambar 3. 7 Laptop.....	35
Gambar 3. 8 Kamera USB <i>Digital Microscope</i>	35
Gambar 3. 9 Material Komposit CFRP	36
Gambar 4. 1 Grafik <i>Main effect</i> Plot S/N rasio Kecepatan Spindel terhadap Delaminasi <i>Peel-up</i>	39
Gambar 4. 2 Grafik <i>Main effect</i> Plot S/N rasio Kecepatan Spindel terhadap Delaminasi <i>Push-out</i>	41
Gambar 4. 3 Grafik <i>Main effect</i> Plot S/N rasio Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi <i>Peel-up</i>	43
Gambar 4. 4 Grafik <i>Main effect</i> Plot S/N rasio Diameter Mata Bor terhadap Delaminasi <i>Push-out</i>	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Delaminasi Sisi Masuk (<i>Peel-up</i>)	59
Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Delaminasi Sisi Keluar (<i>Push-out</i>)	60
Lampiran 3 Dokumentasi	61
Lampiran 4 Plot diagnosis ANOVA Delaminasi <i>Peel-up</i>	65
Lampiran 5 Plot Diagnosis ANOVA Delaminasi <i>Push-out</i>	66

