

SKRIPSI

**ANALISIS PENYEBARAN API DAN ASAP PADA KURSI
POLYURETHANE FOAM MENGGUNAKAN SOFTWARE FIRE
DYNAMICS SIMULATOR DI AUDITORIUM GEDUNG KI
HAJAR DEWANTARA, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**



*Mencerdaskan dan
Memartabatkan Bangsa*

ARIQ HARITS ARRIZQ

1517618025

Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik

PROGRAM STUDI

REKAYASA KESELAMATAN KEBAKARAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2023

LEMBAR PENGESAHAN I

Judul : Analisis Penyebaran Api dan Asap pada *Kursi Polyurethane Foam* Menggunakan *Software Fire Dynamics Simulator* di Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara, Universitas Negeri Jakarta

Penyusun : Ariq Harits Arrizq

NIM : 1517618025

Tanggal Ujian : 26 Januari 2023

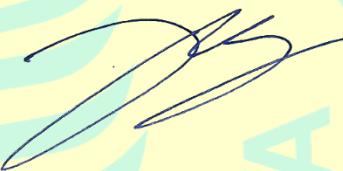
Disetujui oleh:

Pembimbing I



Pratomo Setyadi, S.T., M.T.
NIP. 198102222006041001

Pembimbing II



Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T.
NIP. 197602052006041001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
Rekayasa Keselamatan Kebakaran
Universitas Negeri Jakarta



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

NIP. 197102232006041001

LEMBAR PENGESAHAN II

Judul : Analisis Penyebaran Api dan Asap pada Kursi Polyurethane Foam Menggunakan Software Fire Dynamics Simulator di Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara, Universitas Negeri Jakarta

Penyusun : Ariq Harits Arrizq

NIM : 1517618025

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

NAMA DOSEN
Pratomo Setyadi, S.T., M.T.
NIP. 198102222006041001
(Dosen Pembimbing I)

Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T.
NIP. 197602052006041001
(Dosen Pembimbing II)

TANDA TANGAN

TANGGAL

07/02/2023

07/02/2023

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D
NIP. 197102232006041001
(Ketua Pengudi)

8-2-2023

Fransisca Maria Farida, S.T., M.T.
NIP. 197612212008122002
(Sekretaris)

10/2/2023

Triyono, S.T., M.Eng.
NIP. 197508162009121001
(Dosen Ahli)

10/2/2023

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Rekayasa Keselamatan Kebakaran
Universitas Negeri Jakarta

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, 26 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Ariq Harits Arrizq

1517618025



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

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 : Ariq Harits Arrizq
NIM : 1517618025
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik / Rekayasa Keselamatan Kebakaran
Alamat email : ariqharits27@gmail.com

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

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

yang berjudul :

Analisis Penyebaran Api dan Asap pada Kursi *Polyurethane Foam* Menggunakan
Software Fire Dynamics Simulator di Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara,
Universitas Negeri Jakarta

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini UPT Perpustakaan 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, 21 Februari 2023

Penulis

(Ariq Harits Arrizq)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa telah memberikan rahmat dan anugerah serta karunianya sehingga pasca pandemi Covid-19 yang melanda dalam dua tahun terakhir, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan penulisan skripsi. Skripsi ini disusun sebagai bentuk atau hasil pertanggungjawaban penulis dalam menyelesaikan masa studi.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis menyadari bahwa laporan ini tidak dapat terwujud dan diselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Swt. karena berkat rahmat dan karunia-Nya di pasca pandemi Covid-19 penulis diberi kesehatan sehingga penulis dapat melaksanakan skripsi dengan baik.
2. Almarhum bapak yang belum lama meninggalkan kami pada saat penulis berkuliahan di tengah pandemi Covid-19. Terima kasih atas segala kebaikan yang telah engkau berikan hingga kami bisa ada sampai saat ini.
3. Ibu yang selalu berjuang sehingga dapat mendorong penulis menjadi lebih baik
4. Kedua adik tercinta penulis beserta keluarga besar penulis yang selalu memberikan dorongan dan bantuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan ini.
5. Bapak Catur Setyawan Kusumohadi, M.T., Ph.D selaku Koordinator Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
6. Bapak Pratomo Setyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Nugroho Gama Yoga, M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
8. Para dosen beserta jajaran staf Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

9. Seluruh teman-teman Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran angkatan 2018 yang telah memberikan doa dan bantuan kepada penulis.
10. Seluruh abang dan kakak Prodi Teknik Mesin Konsentrasi Teknik dan Proteksi Keselamatan Kebakaran yang telah memberikan masukan serta saran selama perkuliahan.
11. Seluruh adik-adik Prodi Rekayasa Keselamatan Kebakaran.
12. Sahabat selama masa perkuliahan Richo Jonatan, Daffathur Rachman Satriyaji, Haris Abdullah Hamongan, Dewi Mufliah, Milza Nur Tsurrayya, Petra Safira, Reva Alfian, Muhammad Aliman Muslim, Mohamad Farizal Fikri, Muhammad Nauval Widianto, Farhah Alfaizah, Nanda Muhammad Khoir, Regina Las Maria, Eufrasia Viany, dan Maghvira Safitri.
13. Sahabat terbaik yang senantiasa ada dan membantu disaat kesulitan, suka, terpuruk maupun berduka Nadira Maharani Rachmawanto.
14. Sahabat penulis yang setia menemani masa-masa sulit penulis dari SMA hingga saat ini Dicky Hendriawan, Dara Fitria, Rizky Fanisya, Virdha Amartya, Faldi Harfan, Adjiz, Aditya Indra, Zainul Aliman, Gilang Fraditya, Gunawan Genta, Sultan Zein, Alexander Ray Sandy, Muhammad Faiq, Ibnu Abdul Gohar, Alwi Nawawi, Atthallah Rafi, Nurul Hafizhah, Yusuf Aji Widianto, dan Mario Septa.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan semuanya, atas bantuan dan perhatiannya baik secara langsung maupun tidak langsung untuk memperlancar penyelesaian skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan ilmu yang dimiliki. Oleh karena itu, Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai perbaikan terhadap kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi diri penulis, program studi, dan masyarakat luas.

Jakarta, 26 Januari 2023



Ariq Harits Arrizq

ABSTRAK

Ariq Harits Arrizq, Pratomo Setyadi, S.T., M.T., Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T. 2023. Analisis Penyebaran Api dan Asap pada Kursi Polyurethane Foam Menggunakan Software Fire Dynamics Simulator di Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara, Universitas Negeri Jakarta. Skripsi, Jakarta: Program Studi Rekayasa Keselamatan Kebakaran, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Perilaku penjalaran api dan penyebaran asap kebakaran dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar, kondisi bahan bakarnya, bukaan ventilasi, dan tinggi *ceiling*. Banyaknya jumlah bahan bakar menjadikan auditorium memiliki risiko yang tinggi terhadap bahaya kebakaran. Perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir bahaya risiko kebakaran. Pendekatan *engineering* dengan menggunakan *software Computational Fluid Dynamic*, yaitu *software Fire Dynamics Simulator*. Tulisan ini membahas mengenai pemodelan dari pembakaran api dengan material yang sampel ialah *Polyurethane foam*, yaitu kursi *foam* pada auditorium. Penelitian ini memodelkan dua titik kebakaran pada lantai 9 dan lantai 10 di tengah baris kursi. Perkembangan api pada pemodelan digambarkan oleh hasil visualisasi, HRR (*Heat Release Rate*), dan kenaikan temperatur. Dari hasil pemodelan dapat disimpulkan diketahui seberapa cepat penjalaran api dan asap. Titik awal di lantai 9 merupakan titik awal dengan tingkat penyebaran nyala api tertinggi dikarenakan terdapat fenomena *ceiling jet* yang mana dengan banyaknya bahan bakar temperatur pada *ceiling* terus meningkat sehingga menghasilkan fluks panas yang dapat membakar kursi sekitarnya. Penyebaran asap pada kedua skenario berlangsung sangat cepat, penyebaran asap akan menuju ke bukaan ventilasi. Pada titik awal pada lantai 9 dikarenakan jauh dari bukaan atau ventilasi asap sangat pekat, pada kebakaran titik awal lantai 10 asap tidak sepekat pada lantai 9.

Kata kunci: *Polyurethane foam, Fire Dynamics Simulator, Heat Release Rate, ceiling, asap.*

ABSTRACT

Ariq Harits Arrizq, Pratomo Setyadi, S.T., M.T., Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T. 2023. Analysis of Fire and Smoke Spread on Polyurethane Foam Chairs Using Fire Dynamics Simulator Software in the Auditorium of Ki Hajar Dewantara Building, State University of Jakarta. Thesis, Jakarta: Fire Safety Engineering Study Program, Faculty of Engineering, State University of Jakarta.

Fire behaviour and smoke spread are influenced by the amount of fuel, fuel condition, ventilation openings, and ceiling height. A large amount of fuel makes the auditorium has a high risk of fire hazard. Efforts need to be made to minimize the danger of fire risk. An engineering approach using Computational Fluid Dynamic software, namely Fire Dynamics Simulator software. This paper discusses the modelling of fire combustion with the sample material Polyurethane foam, which is the foam seat in the auditorium. This study modelled two fire points on the 9th floor and 10th floor in the middle of the row of seats. The development of fire in the modelling is described by the results of visualization, HRR (Heat Release Rate), and temperature rise. From the modelling results, it can be concluded how fast the fire and smoke spread. The starting point on the 9th floor is the starting point with the highest flame spread rate because there is a ceiling jet phenomenon where with a lot of fuel the temperature on the ceiling continues to increase to produce a heat flux that can burn the surrounding seats. The spread of smoke in both scenarios takes place very quickly, the spread of smoke will go to the ventilation openings. At the starting point on the 9th floor because it is far from the opening or ventilation the smoke is very dense, at the fire starting point on the 10th floor the smoke is not as dense as on the 9th floor.

Keywords: *Polyurethane foam, Fire Dynamics Simulator, Heat Release Rate, ceiling, smoke.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN I	ii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Pembatasan Masalah.....	4
1.4. Perumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II.....	7
2.1. Kebakaran	7
2.1.1. Teori Segitiga Api (<i>Fire Triangle</i>).....	7
2.1.2. Bidang Empat Api (<i>Tetrahedron of Fire</i>)	8
2.1.3. Sumber Panas	9
2.1.4. Oksigen.....	10
2.1.5. Bahan Bakar	10
2.2. Tahapan Kebakaran	11
2.2.1. <i>Incipient</i>	12
2.2.2. <i>Growth</i>	12
2.2.3. <i>Flashover</i>	13
2.2.4. <i>Fully Developed</i>	14
2.2.5. <i>Decay</i> atau <i>Cooling Phase</i>	14

2.3. Auditorium.....	14
2.4. Pemodelan Kebakaran	15
2.5. <i>Ceiling Jet</i>	17
2.6. Faktor Penyebaran Api pada Benda Padat.....	20
2.6.1. Pengaruh Sudut Kemiringan pada Penyebaran Api	20
2.6.2. Faktor Lingkungan	22
2.6.3. Geometri dari Material	24
2.7. Material <i>Polyurethane Foam</i>	25
2.8. Laju Pelepasan Kalor (<i>Heat Release Rate</i>).....	27
2.9. Program <i>Fire Dynamics Simulator</i> (FDS).....	28
2.9.1. Hasil Parameter Input dari <i>Software Fire Dynamics Simulator</i>	29
2.9.2. Hasil Output dari <i>Software Fire Dynamics Simulator</i>	30
2.9.3. Komponen pada <i>Software Fire Dynamics Simulator</i>	31
2.9.4. Batasan pada <i>Fire Dynamics Simulator</i> Versi 6.7	32
2.9.5. <i>Large Eddy Simulation (LES)</i>	33
2.9.6. Transpor Massa	34
2.9.7. Pembakaran	34
2.9.8. <i>Mesh</i>	35
2.9.9. Reaksi Pembakaran Asap Hidrokarbon.....	36
2.9.10. Program <i>Smokeview</i> (SMV)	37
2.10. Penelitian Relevan	38
BAB III	40
METODE PENELITIAN.....	40
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	40
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	40
3.2.1. Alat Penelitian	40
3.2.2. Bahan.....	41
3.3. Diagram Alir Penelitian	41
3.3.1. Tahap Studi Pendahuluan.....	42
3.3.2. Tahap Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	42
3.3.3. Tahap Studi Pustaka	42
3.3.4. Tahap Pengumpulan Data	42

3.3.5. Tahap Penentuan Titik Awal Api dan Pembuatan Pemodelan	44
3.3.6. Penentuan Skenario Pemodelan Kebakaran	46
3.3.7. Parameter Input pada FDS	48
3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	53
3.5. Teknik Analisis Data	53
BAB IV	54
HASIL PENELITIAN.....	54
4.1. Deskripsi Hasil Penelitian.....	54
4.2. Analisis Data dan Penelitian.....	55
4.2.1. Analisis Hasil Simulasi Kebakaran Pemodelan 1	55
4.2.2. Analisis Hasil Simulasi Kebakaran Pemodelan 2	72
4.3. Aplikasi Hasil Penelitian	83
BAB V.....	85
KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pengaruh Sudut Kemiringan pada Penyebaran Api.....	21
Tabel 2.2 Matriks Transformasi Fraksi Massa.....	37
Tabel 3.1 <i>Properties</i> Material di Auditorium	43
Tabel 3.2 <i>Properties</i> Material <i>Polyurethane Foam</i> di Auditorium.....	43
Tabel 3.3 <i>Ignition Temperature</i> Material di Auditorium	43
Tabel 3.4 Skenario Pemodelan Titik Awal Api	48
Tabel 3.5 Matriks Transformasi Fraksi Massa.....	49
Tabel 4.1 Penyebaran Api pada Pemodelan 1 Lantai 9 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	57
Tabel 4.2. Penyebaran Asap pada Pemodelan 1 Lantai 9 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	63
Tabel 4.3 Penyebaran Temperatur pada Pemodelan 1 Lantai 9 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	64
Tabel 4.4. Penyebaran Api pada Pemodelan 2 Lantai 10 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	74
Tabel 4.5. Penyebaran Asap pada Pemodelan 2 Lantai 10 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	78
Tabel 4.6 Penyebaran Temperatur pada Pemodelan 2 Lantai 10 Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Segitiga Api.....	7
Gambar 2.2 Diagram Proses Terjadinya Kebakaran.....	8
Gambar 2.3 <i>Tetrahedron of Fire</i>	8
Gambar 2.4 Tahap Pertumbuhan Api pada Kompartemen	11
Gambar 2.5 Tahap <i>Flashover</i> [15]	13
Gambar 2.6 Pemodelan Kebakaran.....	15
Gambar 2.7 Fenomena <i>Fire Plume/Ceiling Jet Stage</i>	18
Gambar 2.8 Fenomena <i>Enclosure Smoke Filling Stage</i>	19
Gambar 2.9 Fenomena <i>Pre-Flashover Vented Stage</i>	19
Gambar 2.10 Fenomena <i>Post-Flashover Vented Stage</i>	20
Gambar 2.11 Pengaruh Sudut Kemiringan pada Penyebaran Api	21
Gambar 2.12 <i>Flammability Test</i> pada Kursi <i>Polyurethane Foam</i>	26
Gambar 2.13 Dekomposisi <i>Polyurethane Foam</i>	26
Gambar 2.14 Pengukuran <i>Heat Release Rate per Unit Area</i> (HRRPUA) Material <i>Polyurethane Foam</i> Menggunakan <i>Cone Calorimeter</i>	28
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2. Ventilasi pada Auditorium	45
Gambar 3.3 Titik Awal Api pada Kursi Lantai 9	46
Gambar 3.4 Titik Awal Api pada Kursi Lantai 10.....	46
Gambar 3.5 Geometri Kursi.....	47
Gambar 3.6 Pemodelan Auditorium Ki Hajar Dewantara pada <i>Software FDS</i>	51
Gambar 3.7 Literasi <i>Command Prompt FDS</i>	52
Gambar 4.1. Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara	54
Gambar 4.2. Grafik <i>Heat Release Rate</i> pada Pemodelan Kebakaran 1	56
Gambar 4.3 Grafik <i>Heat Release Rate</i> pada Pemodelan Kebakaran 2	73
Gambar 4.4 Grafik <i>Heat Release Rate</i> pada Tahap <i>Flashover</i> sampai Tahap <i>Fully Develop</i> Pemodelan Kebakaran 2	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Permohonan Izin Mengadakan Penelitian untuk Penulisan Skripsi .	89
Lampiran 2. Denah Auditorium Gedung Ki Hajar Dewantara	90
Lampiran 3. Kondisi Auditorium Ki Hajar Dewantara.....	91
Lampiran 4. <i>File Kode Notepad Teks Pemodelan</i>	92

