

SKRIPSI

**ANALISAIS LAJU ALIRAN FLUIDA PADA SKAFOLD
MODEL *FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE* (FDS)
TERHADAP NILAI PERMEABILITAS DAN TEGANGAN
GESER**



YOGA MARTINO ASTRADA

03051381621088

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

SKRIPSI

**ANALISIS LAJU ALIRAN FLUIDA PADA SKAFOLD
MODEL *FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE* (FDS)
TERHADAP NILAI PERMEABILITAS DAN TEGANGAN
GESER**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH:
YOGA MARTINO ASTRADA
03051381621088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS LAJU ALIRAN FLUIDA PADA SKAFOLD
MODEL *FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE* (FDS)
TERHADAP NILAI PERMEABILITAS DAN TEGANGAN
GESER**

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
YOGA MARTINO ASTRADA
03051381621088



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Palembang, 23 Desember 2020

Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri
NIP. 195802011984031002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

Nama : YOGA MARTINO ASTRADA
NIM : 03051381621088
Jurusan : TEKNIK MESIN
Judul Skripsi : ANALISIS LAJU ALIRAN FLUIDA PADA
SKAFOLD MODEL FUNCTIONAL DEGRADED
STRUCTURE (FDS) TERHADAP NILAI
PERMEABILITAS DAN TEGANGAN GESER
Dibuat Tanggal : SEPTEMBER 2019
Selesai Tanggal : DESEMBER 2020

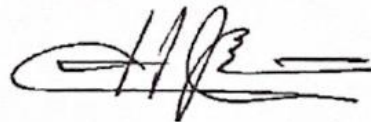
Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yam, S.T, M.Eng, Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Palembang, Desember 2020

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing



Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri
NIP. 195802011984031002

HALAMAN PERSETUJUAN

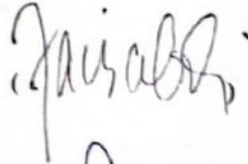
Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "**Analisis Laju Aliran Fluida Pada Skafold Model *Functional Degraded Structure* (FDS) Terhadap Nilai Permeabilitas dan Tegangan Geser**" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 23 Desember 2020 .

Palembang, 23 Desember 2020

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

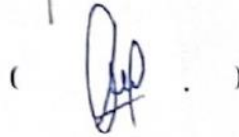
Ketua

1. **Ir. Zainal Abidin, M.T.**
NIP. 195809101986021001



Anggota

2. **Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.**
NIP. 1993060520190310163



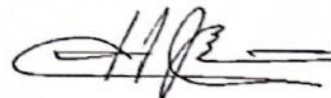
3. **Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T**
NIP. 197002281994121001




Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani S.T.,M.Eng.,Ph.D
NIP. 197112251997021001

Pembimbing Skripsi,


Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri
NIP. 195802011984031002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

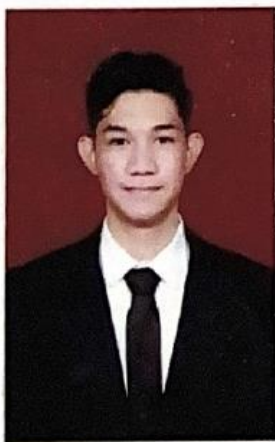
Nama : Yoga Martino Astrada

NIM : 03051381621088

Judul : Analisis Laju Aliran Fluida Pada Skafold Jenis *functional degraded structure* (FDS) Terhadap Nilai Permeabilitas dan Tegangan Geser.

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2020



Yoga Martino Astrada
NIM. 03051381621088

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yoga Martino Astrada

NIM : 03051381621088

Judul : Analisis Laju Aliran Fluida Pada Skafold Jenis *functional degraded structure* (FDS) Terhadap Nilai Permeabilitas dan Tegangan Geser.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2020



Yoga Martino Astrada
NIM. 03051381621088

RINGKASAN

ANALISIS LAJU ALIRAN FLUIDA PADA SKAFOLD MODEL FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE (FDS) TERHADAP NILAI PERMEABILITAS DAN TEGANGAN GESER

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 23 Desember 2020

Yoga Martino Astrada; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri

ANALYSIS OF FLUID FLOW RATE ON THE FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE (FDS) MODEL SCAFFOLD ON THE PERMEABILITY AND SHEAR STRESS VALUE

xxv + 52 Halaman, 15 tabel, 27 gambar

RINGKASAN

Tulang kanelus adalah tulang yang memiliki peranan penting pada tubuh manusia. Tulang kanelus manusia memiliki tingkat porositas yang berbeda-beda mulai dari bagian luar sampai intinya. Porositas tulang kanelus pada permukaannya sangat kecil dan semakin ke dalam semakin membesar. Untuk mendapatkan skafold yang menyerupai struktur tulang kanelus manusia, maka dibuat skafold model FDS (functional degraded structure). Skafold model FDS ini memiliki porositas yang berbeda di tiap-tiap tingkatannya. Untuk mendapatkan nilai porositas skafold yang menyerupai tulang kanelus dilakukan rekonstruksi tulang menggunakan aplikasi MIMICS Research sehingga didapatkan sampel tulang kanelus yang memiliki 4 tingkatan dan pada tiap-tiap tingkatan memiliki porositas yang berbeda. Setelah didapatkan nilai porositas untuk tiap tingkatan tulang kanelus didesainlah skafold model FDS menggunakan aplikasi SOLIDWORKS 2018, skafold yang didesain berdimensi 9 x 9 x 12 mm dengan porositas yang berbeda di tiap layer-nya yaitu pada layer pertama porositasnya 71%, pada layer kedua porositasnya yaitu 76%, pada layer ketiga 80%, dan pada layer keempat 82% sesuai dengan data yang didapatkan dari hasil rekonstruksi tulang kanelus. Setelah didapatkan model skafold kemudian diinput untuk dilakukan simulasi pada aplikasi COMSOL 5.4. Untuk proses simulasi dilakukan dengan dua jenis fluida yang berbeda yaitu berupa bone marrow dan simulated body fluid yang tentunya memiliki karakteristik yang berbeda, serta untuk proses simulasi dilakukan dengan tiga variasi laju aliran fluida yaitu 0,8 ml/min, 0,4 ml/min dan 0,025 ml/min. Setelah dilakukan simulasi didapatkan data bahwa bentuk morfologi dari desain skafold memiliki pengaruh yang signifikan untuk

nilai tegangan geser dan untuk nilai permeabilitas, sedangkan untuk tiga variasi laju aliran tidak memberikan pengaruh yang signifikan untuk nilai permeabilitas dari skafold model FDS tetapi memberikan pengaruh untuk nilai tegangan geser. Nilai permeabilitas dan tegangan geser memberikan pengaruh untuk kemampuan nutrient transport pada skafold.

Kata Kunci: Functional degraded structure, SBF, Bone marrow, porositas, Tegangan Geser.

SUMMARY

ANALYSIS OF FLUID FLOW RATE ON THE FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE (FDS) MODEL SCAFFOLD ON THE PERMEABILITY AND SHEAR STRESS VALUE

Scientific Writing in the form of Thesis, 23 Desember 2020

Yoga Martino Astrada; Suervised by Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri

ANALYSIS OF FLUID FLOW RATE ON THE FUNCTIONAL DEGRADED STRUCTURE (FDS) MODEL SCAFFOLD ON THE PERMEABILITY AND SHEAR STRESS VALUE

xxv + 52 Pages, 15 tables, 27 picture

SUMMARY

Chancellus bone is a bone that has an important role in the human body. Human chancellus bone has different porosity, starting from the outside to the core. The porosity of the cancellous bone on its surface is very small and is getting bigger and bigger. In order to obtain a skafold that is a skeleton of the human cancellous bone structure, a functional degraded structure (FDS) skafold model is made. This Skafold FDS model has different porosity for each level. To get the porosity value of the skafold address of the cancellous bone, bone reconstruction was carried out using the MIMICS research application in order to obtain a sample of cancellous bone which had 4 levels and each level had a different porosity. After getting the porosity value for each level of cancellous bone, the FDS skafold model was designed using the SOLIDWORKS 2018 application, the designed skafold has dimensions of 9 x 9 x 12 mm with different porosity in each layer, namely the first layer the porosity is 71%, on the second layer the porosity is 76% , in the third layer 80%, and in the fourth layer 82% according to the data obtained from the reconstruction of cancellous bone. After obtaining the model, skafold is then inputted for simulation in the COMSOL 5.4 application. The simulation process is carried out with two different types of fluid, namely bone marrow and body fluid simulation which of course has a different image, and for the simulation process with three variations of fluid flow rate, namely 0.8 ml / minute, 0.4 ml / minute and 0.025 ml / minute. After the simulation, the data shows that the morphological shape of the skafold design has a significant effect on the value of

shear stress and for the permeability value, while for the three variations of the flow rate it does not have a significant effect on the permeability value of the FDS scaffold model but it does affect the shear stress value. Permeability values and shear stress have an influence on the ability of nutrient transport on the scaffold.

Keywords: Functionally degraded structure scaffold, SBF, Bone marrow, porosity, Shear Stress.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Studi Kualitas Skafold Berbahan Pla Hasil Produksi Mesin Cetak 3d Tipe Fdm Dengan Metode Taguchi”

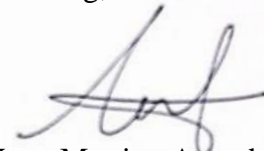
Dalam kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini adapapun pihak tersebut adalah:

1. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
2. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, serta selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan kegiatan perkuliahan
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, membimbing, mendidik, memotivasi dan banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya skripsi ini.
4. Seluruh Keluarga Besar penulis dan teman-teman yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini dan memberikan saran.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini ke depannya akan sangat membantu.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang di kemudian hari.

Palembang, 22 Februari 2020



Yoga Mertino Astrada
NIM. 03051381621088

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERSETUJUAN	ix
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY	xvii
KATA PENGANTAR.....	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tulang	7
2.1.1 Tulang Kortikal (Cortical Bone)	8
2.1.2 Tulang Karselus (Trabecular Bone).....	8
2.1.3 Mechanical Properties of Bones	9
2.2 Rekayasa Jaringan Skafold.....	10
2.3 Additive Manufacturing Biodegradable Porous Iron.....	11
2.3.1 Skafold Model FDS	13
2.3.2 Besi Murni Sebagai Material Skafold.....	13
2.3.3 Karakteristik Additively Manufactured Berpori.....	15
2.3.4 Struktur dan Porositas Skafold.....	16
2.3.4.1 Porositas Dari Material Skafold	17
2.3.4.2 Porositas Pada Skafold.....	18

2.4	Syarat Perancangan Skafold	18
2.4.2	Permeabilitas	19
2.4.3	Tegangan Geser.....	19
2.5	CFD	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Pendekatan Umum.....	21
3.2	Diagram Alir	22
3.3	Pengantar Comsol.....	23
3.4	Computational Fluid Dynamics (CFD)	23
3.5	Pengumpulan Data	24
3.5.1	Besi Murni (Fe)	24
3.5.2	Fluida Pengujian	24
3.6	Rekonstruksi Tulang Karsinoma	25
3.7	Pemodelan Skafold.....	25
3.7.1	Pemodelan 3D Model Fluid	27
3.7.2	Pemodelan 3D Chamber (Blok) Skafold.....	27
3.7.3	Penggabungan Model 3D	28
3.8	Input Fluida.....	29
3.9	Kondisi Batas Skafold.....	30
3.9.1	Studi Konvergen untuk Proses Meshing.....	30
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Pendahuluan.....	33
4.2	Fluida yang Digunakan.....	33
4.2.1	SBF (Simulated Body Fluid).....	33
4.2.2	Bone Marrow	34
4.3	Nilai Permeabilitas Skafold FDS Model 1 dan 2.....	34
4.4	Hubungan Antara Laju Aliran Terhadap Shear Stress	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Tulang.....	7
Gambar 2.2 Tulang Kortikal dan Karselus.....	9
Gambar 2.3 Jaringan-jaringan pada tulang.....	10
Gambar 2.4 Desain skafold dan manufaktur.....	15
Gambar 2.5 Pendekatan desain skafold.....	16
Gambar 2.6 Hubungan ukuran pori dengan tegangan geser.....	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3.2 Hasil rekonstruksi tulang karselus.....	25
Gambar 3.3 Skafold fds model 1 dan 2.....	26
Gambar 3.4 Pemodelan 3D <i>model fluid</i>	27
Gambar 3.5 Pemodelan 3D <i>chamber</i> fluida.....	28
Gambar 3.6 Hasil penggabungan model 3 D skafold dengan model 3D <i>chamber</i> dan model 3D fluida.....	28
Gambar 3.7 Penginputan nilai fluida <i>bone marrow</i>	29
Gambar 3.8 Penginputan nilai flida <i>simulated body fluid</i>	29
Gambar 3.9 Grafik hasil studi konvergen.....	31
Gambar 3.10 Grafik analisa presentasi eror (GCI) menggunakan <i>Richardson's extrapolation method</i>	32
Gambar 4.1 nilai permeabilitas skafold fds model 1 setelah dialiri fluida sbf..	35
Gambar 4.2 nilai permeabilitas skafold fds model 2 setelah dialiri fluida sbf..	36
Gambar 4.3 nilai permeabilitas skafold fds model 1 setelah dialiri fluida bone marrow.....	37
Gambar 4.4 nilai permeabilitas skafold fds model 2 setelah dialiri fluida bone marrow.....	37
Gambar 4.5 perbandingan permeabilitas skafold fds model 1 dan 2 dialiri fluida sbf.....	38
Gambar 4.6 perbandingan permeabilitas skafold fds model 1 dan 2 dialiri fluida bone marrow.....	38

Gambar 4.7 nilai shear stress skafold fds model 1 dan 2 setelah dialiri fluida <i>bone marrow</i>	40
Gambar 4.8 nilai shear stress skafold fds model 1 dan 2 setelah dialiri fluida sbf	41
Gambar 4.9 Skafold fds model 1 dan 2 setelah dilakukan simulasi shear stress	42
Gambar 4.10 nilai shear stress pada skafold fds model 1 dengan 2 jenis fluida dan 3 variasi laju aliran.....	43
Gambar 4.11 nilai shear stress pada skafold fds model 2 dengan 2 jenis fluida dan 3 variasi laju aliran.....	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik skafold AM besi murni	14
Tabel 3.1 Karakteristik fluida	25
Tabel 3.2 Studi konvergen simulasi skafold model fds dengan fluida <i>simulated body fluid</i>	30
Tabel 3.3 Richardson's extrapolation method data	31
Tabel 4.1 karakteristik fluida <i>simulated body fluid</i>	33
Tabel 4.2 katakteristik fluida <i>bone marrow</i>	34
Tabel 4.3 perbandingan nilai permeabilitas skafold fds model 1 dan 2	34
Tabel 4.4 nilai permeabilitas skafold fds model 1 setelah dialiri fluida sbf	35
Tabel 4.5 nilai permeabilitas skafold fds model 2 setelah dialiri fluida sbf	35
Tabel 4.6 nilai permeabilitas skafold fds model 1 setelah dialiri fluida <i>bone marrow</i>	36
Tabel 4.7 nilai permeabilitas skafold fds model 2 setelah dialiri fluida <i>bone marrow</i>	37
Tabel 4.8 nilai shear stress skafold fds model 1 dan 2 setelah dialiri fluida <i>bone marrow</i>	40
Tabel 4.9 nilai shear stress skafold fds model 1 dan 2 setelah dialiri fluida sbf	41
Tabel 4.10 nilai shear stress pada skafold fds model 1 dengan 2 jenis fluida dan 3 variasi laju aliran	43
Tabel 4.11 nilai shear stress pada skafold fds model 2 dengan 2 jenis fluida dan 3 variasi laju aliran	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Skafold tulang adalah biomaterial berstruktur tiga dimensi yang dapat digunakan dalam rekonstruksi cacat tulang. Skafold yang baik harus mudah digunakan agar ahli bedah dapat mengaplikasikan skafold ke dalam tubuh dengan mudah dan aman (Tariverdian *et al.*, 2019)

Agar cocok dengan keadaan biologis tubuh manusia, skafold tulang harus memiliki kriteria sebagai berikut: pertama, skafold yang baik harus memiliki sifat *Biokompatibilitas* yang maksudnya memungkinkan skafold mendukung aktifitas pertumbuhan jaringan tulang yang di topangnya. Kedua, skafold harus bersifat *non-toxic* agar tidak menyebabkan timbulnya berbagai penyakit saat skafold di implankan. Ketiga, skafold harus memiliki kemampuan *osteokonduktifitas* yang artinya memungkinkan sel jaringan baru yang terbrntuk dapat menempel dan berkembang di dalam pori-pori skafold . Keempat, skafold harus memiliki persamaan atau pendekatan sifat mekanik dari tulang itu sendiri. Kelima, skafold harus memiliki struktur yang berpori agar nutrisi dan sel pembentuk jaringan dapat masuk dan beregenerasi di dalam pori tersebut. Keenam, skafold harus memiliki sifat *Bioresorbabilitas* yang artinya dapat terdegradasi dengan waktu yang telah di tentukan, dalam konteks ini skafold harus terdegradasi seiring dengan tersusunnya jaringan tulang baru sehingga tidak diperlukan operasi kedua untuk pengangkatan scaffold (Bose, Roy and Bandyopadhyay, 2012).

Dalam pengembangan tulang karselus buatan, dua faktor utama perlu dipertimbangkan yaitu integritas struktur keseluruhan dan permeabilitasnya. Sementara ada banyak penelitian yang menganalisis sifat mekanik dari tulang karselus buatan dan alami, studi permeabilitas, terutama yang menggunakan simulasi numerik. Dalam penelitian ini, tulang karselus yang ideal

disimulasikan dari indeks morfologis tulang kancellus alami. Tiga orientasi berbeda juga disimulasikan untuk membandingkan sifat anisotropik struktur. Metode dinamika fluida komputasional (CFD) digunakan untuk menganalisis aliran fluida melalui struktur kancellus. Laju aliran massa konstan digunakan untuk menentukan permeabilitas intrinsik dari spesimen virtual (Syahrom *et al.*, 2013).

Additively Manufactured (AM) muncul sebagai terobosan baru pada biomaterial logam berpori yang berfungsi untuk menghasilkan peningkatan regenerasi sel pada skafold dengan kenaikan peluang yang belum pernah terjadi sebelumnya untuk meregenerasi tulang (Li *et al.*, 2019a). Topologi *Additively Manufactured* memerintahkan biomaterial metalik berpori dengan biodegradasi yang tepat dan karakteristik dengan kombinasi unik dari sifat ideal untuk regenerasi tulang. Ini termasuk struktur berpori yang saling berhubungan sepenuhnya, peniruan sifat mekanik tulang, dan berkemungkinan meregenerasi cacat tulang sepenuhnya. Penyajian struktur topologi skafold besi berpori dibuat dengan *Direct Metal Printing* (DMP). DMP dapat berguna untuk meningkatkan luas permukaan dan mengurangi ukuran butir secara topologi pada biomaterial logam berpori yang dibuat dari logam, yang biasanya dianggap menyebabkan penurunan terlalu lambat (misalnya besi), sehingga membuka banyak peluang baru untuk pengembangan *biodegradable* dari *biomaterial metalik*. (Li *et al.*, 2019a).

Biomaterial *Additively manufactured* berpori umumnya memiliki luas permukaan yang lebih besar. Ini bukan keuntungan bagi skafold berbasis magnesium, karena semakin besar luas permukaan maka semakin tinggi tingkat biodegradasi. Selain itu, paduan skafold berbasis besi memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari magnesium. dalam hal pembiayaan besi juga lebih murah, tidak melepaskan gas hidrogen selama biodegradasi, dan menunjukkan biokompatibilitas yang baik (Li *et al.*, 2019a).

Desain topologi AM biomaterial berpori dapat dikontrol dan disesuaikan, yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk meniru sifat mekanik tulang, mengakomodasi proliferasi, diferensiasi sel, dan akhirnya meningkatkan regenerasi tulang. Sebagian besar biomaterial *Additively manufactured* berpori

terbuat dari bahan *Bio-inert*. Bahan ini sendiri masih memiliki keterbatasan yaitu mereka akan tinggal secara permanen didalam tubuh sebagai benda asing, sebagai akibatnya mungkin akan diperlukan operasi kedua. Logam biodegradable memiliki degradasi dan sifat mekanik yang tinggi dibandingkan dengan polimer biodegradable dan keramik. Pada umumnya material yang digunakan adalah magnesium, tetapi magnesium itu sendiri memiliki tingkat degradasi yang relatif tinggi, sedangkan untuk kelemahan skafold berbasis besi memiliki tingkat degradasi yang lambat (Li *et al.*, 2019a).

Pada penelitian kali ini material yang di pakai adalah besi murni (Fe). Zat besi murni memperoleh signifikansi di bidang rekayasa jaringan tulang karena sifat mekanik dan biodegradasinya yang sangat baik. Namun, tingkat degradasinya terlalu lambat yang perlu dipercepat. Solusi untuk masalah ini adalah persiapan skafold besi berpori (Sharma and Pandey, 2019).

Bahan biodegradable berbasis besi (Fe) telah menunjukkan potensi besar untuk digunakan dalam aplikasi ortopedi dan kardiovaskular karena sifat mekanik yang sangat baik dan biokompatibilitas yang baik (Sharma *et al.*, 2020).

Besi murni (Fe) telah di teliti sebagai kardiovaskular dalam beberapa tahun terakhir untuk properti biodegradasinya dan kompatibilitas terhadap darah. Ini juga memiliki potensi besar untuk penyembuhan tulang, terutama untuk area penahan beban berdasarkan mekanis bawaannya properti yang cukup tinggi untuk regenerasi tulang (Yang *et al.*, 2018).

Tulang kanelus manusia memiliki tingkat porositas yang berbeda beda mulai dari bagian luar sampai intinya. Porositas tulang kanelus pada permukaannya sangat kecil dan semakin kedalam semakin membesar. Untuk mendapatkan skafold yang menyerupai struktur tulang kanelus manusia, maka dibuat skafold model FDS (*functional degraded structure*). Skafold model FDS ini memiliki porositas yang berbeda di tiap tiap tingkatannya (Leong *et al.*, 2008).

Dari latar belakang di atas, peneliti akan mengangkat pokok bahasan berjudul “Analisa Laju Aliran Fluida Pada Skafold model *functional degraded structure* (FDS) Terhadap Nilai Permeabilitas dan Tegangan Geser” .

1.2 Rumusan Masalah

Tulang kanselus adalah tulang yang mempunyai peran penting pada manusia, kerusakan pada tulang kanselus dapat mengakibatkan rusaknya seluruh jaringan pada tulang. Pada saat ini skafold model *Functional Degraded Structure* dianggap sebagai salah satu pengobatan untuk tulang kanselus karena memiliki struktur yang kompleks dan skafold model FDS memiliki porositas dan ukuran pori yang berbeda-beda di tiap tingkatan yang mana akan berpengaruh pada tingkat biodegradasi. Pada penelitian akan dilakukan pengujian antara aliran fluida terhadap permeabilitas dan tegangan geser dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak COMSOL 5.4.

1.3 Batasan Masalah

1. Material yang digunakan pada skafold tulang adalah besi murni
2. Dalam penelitian ini menggunakan jenis porositas FDS
3. Pemodelan skafold tulang menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2016
4. Fluida yang digunakan untuk simulasi pada penelitian ini adalah fluida yang menyerupai *bone marrow*
5. Simulasi menggunakan kondisi batas pada skafold tulang. Untuk menyerupai kondisi aktifitas fisiologis manusia dan menganalisa aliran fluida menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

1.4 Tujuan Penelitian

3. Menghitung nilai permeabilitas dari skafold model FDS
4. Dapat mengetahui nilai tegangan geser pada skafold model FDS
5. Dapat mengetahui pengaruh perbedaan struktur pada skafold model FDS terhadap nilai tegangan geser

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bentuk kontribusi untuk perkembangan ilmu biomekanik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dapat memberikan pengetahuan lanjutan dari perkembangan kemampuan permeabilitas dan porositas berdasarkan *Topological Additively manufactured* khususnya pada skafold model *fds*.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk pengembangan model skafold berbahan besi murni dengan menggunakan metode analisa *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

DAFTAR PUSTAKA

- Afshar, M. *et al.* (2016) ‘Additive manufacturing and mechanical characterization of graded porosity scaffolds designed based on triply periodic minimal surface architectures’, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. Elsevier, 62, pp. 481–494. doi: 10.1016/j.jmbbm.2016.05.027.
- Ali, D. *et al.* (2020) ‘Permeability and fluid flow-induced wall shear stress in bone scaffolds with TPMS and lattice architectures: A CFD analysis’, *European Journal of Mechanics, B/Fluids*. Elsevier Masson SAS., 79, pp. 376–385. doi: 10.1016/j.euromechflu.2019.09.015.
- Bose, S., Roy, M. and Bandyopadhyay, A. (2012) ‘Recent advances in bone tissue engineering scaffolds’, *Trends in Biotechnology*. Elsevier Ltd, 30(10), pp. 546–554. doi: 10.1016/j.tibtech.2012.07.005.
- Dallemagne, M. J. and Fabry, C. (2008) ‘Structure of Bone Salts’, (January), pp. 14–35. doi: 10.1002/9780470715222.ch3.
- Date, A. W. (2005) ‘Introduction to computational fluid dynamics’, *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, 9780521853, pp. 1–377. doi: 10.1017/CBO9780511808975.
- Divieti Pajevic, P. and Krause, D. S. (2019) ‘Osteocyte regulation of bone and blood’, *Bone*. Elsevier Inc, pp. 13–18.
- Evju, Ø. and Mardal, K. A. (2015) ‘On the assumption of laminar flow in physiological flows: Cerebral aneurysms as an illustrative example’, *Modeling, Simulation and Applications*, 14(1), pp. 177–195. doi: 10.1007/978-3-319-05230-4_7.
- Gurkan, U. A. and Akkus, O. (2008) ‘The mechanical environment of bone marrow: A review’, *Annals of Biomedical Engineering*, 36(12), pp. 1978–1991. doi: 10.1007/s10439-008-9577-x.
- Han, C. *et al.* (2018) ‘Continuous functionally graded porous titanium scaffolds manufactured by selective laser melting for bone implants’, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. Elsevier Ltd, 80(March 2017), pp. 119–127. doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.01.013.

- Hassanajili, S. *et al.* (2019) 'Preparation and characterization of PLA/PCL/HA composite scaffolds using indirect 3D printing for bone tissue engineering', *Materials Science and Engineering C*. Elsevier, 104(March), p. 109960. doi: 10.1016/j.msec.2019.109960.
- Hollister, S. J. (2006) 'Porous scaffold design for tissue engineering (vol 4, pg 518, 2005)', *Nature Materials*, 5(7), p. 590.
- Hutmacher, D. W. and Singh, H. (2008) 'Computational fluid dynamics for improved bioreactor design and 3D culture', *Trends in Biotechnology*, 26(4), pp. 166–172. doi: 10.1016/j.tibtech.2007.11.012.
- Kadir, M. R. A. and Syahrom, A. (2009) 'Comparison of permeability on the actual and ideal cancellous bone microstructure', *CFD Letters*, 1(2), pp. 68–77.
- Kane, R. and Ma, P. X. (2013) 'Mimicking the nanostructure of bone matrix to regenerate bone', *Materials Today*. Elsevier Ltd., 16(11), pp. 418–423. doi: 10.1016/j.mattod.2013.11.001.
- Leong, K. F. *et al.* (2008) 'Engineering functionally graded tissue engineering scaffolds', *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 1(2), pp. 140–152. doi: 10.1016/j.jmbbm.2007.11.002.
- Li, Y. *et al.* (2018) 'Additively manufactured biodegradable porous iron', *Acta Biomaterialia*, pp. 380–393.
- Li, Y. *et al.* (2019a) 'Additively manufactured functionally graded biodegradable porous iron', *Acta Biomaterialia*, pp. 646–661.
- Li, Y. *et al.* (2019b) 'Additively manufactured functionally graded biodegradable porous iron', *Acta Biomaterialia*, 96, pp. 646–661. doi: 10.1016/j.actbio.2019.07.013.
- McMahon, R. (2008) 'Anatomy & Physiology', in *Journal of Neonatal Nursing*, pp. 203–238.
- Md Saad, A. P. *et al.* (2016) 'Dynamic degradation of porous magnesium under a simulated environment of human cancellous bone', *Corrosion Science*. Elsevier Ltd, 112, pp. 495–506. doi: 10.1016/j.corsci.2016.08.017.
- Mohd Daud, N. *et al.* (2014) 'Degradation and invitro cell-material interaction studies on hydroxyapatite-coated biodegradable porous iron for hard tissue scaffolds', *Journal of Orthopaedic Translation*. Elsevier Ltd, 2(4), pp. 177–184.

doi: 10.1016/j.jot.2014.07.001.

Moreno Madrid, A. P. *et al.* (2019) 'Advances in additive manufacturing for bone tissue engineering scaffolds', *Materials Science and Engineering C*. Elsevier, 100(March), pp. 631–644. doi: 10.1016/j.msec.2019.03.037.

Morris, E. R. *et al.* (1981) 'Concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil polysaccharide solutions', *Carbohydrate Polymers*, 1(1), pp. 5–21. doi: 10.1016/0144-8617(81)90011-4.

Niinomi, M. (2007) 'Recent research and development in metallic materials for biomedical, dental and healthcare products applications', *Materials Science Forum*, 539–543(PART 1), pp. 193–200. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.539-543.193.

Polo-Corrales, L., Latorre-Esteves, M. and Ramirez-Vick, J. E. (2014) 'Scaffold design for bone regeneration', *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14(1), pp. 15–56. doi: 10.1166/jnn.2014.9127.

Sharma, P. *et al.* (2020) 'In vitro degradation behaviour, cytocompatibility and hemocompatibility of topologically ordered porous iron scaffold prepared using 3D printing and pressureless microwave sintering', *Materials Science and Engineering C*. Elsevier, 106(September 2019), p. 110247. doi: 10.1016/j.msec.2019.110247.

Sharma, P. and Pandey, P. M. (2019) 'Corrosion rate modelling of biodegradable porous iron scaffold considering the effect of porosity and pore morphology', *Materials Science and Engineering C*. Elsevier, 103(February), p. 109776. doi: 10.1016/j.msec.2019.109776.

Syahrom, A. *et al.* (2013) 'Permeability studies of artificial and natural cancellous bone structures', *Medical Engineering and Physics*. Institute of Physics and Engineering in Medicine, 35(6), pp. 792–799. doi: 10.1016/j.medengphy.2012.08.011.

Tariverdian, T. *et al.* (2019) 'Scaffold for bone tissue engineering', *Handbook of Tissue Engineering Scaffolds: Volume One*, pp. 189–209. doi: 10.1016/b978-0-08-102563-5.00010-1.

Wang, J. and Yu, X. (2010) 'Acta Biomaterialia Preparation, characterization and in vitro analysis of novel structured nanofibrous scaffolds for bone tissue engineering', *Acta Biomaterialia*. Acta Materialia Inc., 6(8), pp. 3004–3012. doi:

10.1016/j.actbio.2010.01.045.

Wang, X. *et al.* (2016) 'Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review', *Biomaterials*. Elsevier Ltd, 83, pp. 127–141. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.01.012.

Warastuti, Y., Aplikasi, P. and Isotop, T. (2013) 'Karakteristik Degradasi dari Biomaterial Poli- (kaprolakton-kitosan-hidroksiapatit) Iradiasi Dalam Larutan Simulated Body Fluid Degradation Characteristics of Irradiated Poly- (caprolactone- chitosan-hydroxyapatite) Biomaterial in Simulated Body Fluid', pp. 11–22.

Yang, C. *et al.* (2018) '3D Printed Fe Scaffolds with HA Nanocoating for Bone Regeneration', *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 4(2), pp. 608–616. doi: 10.1021/acsbiomaterials.7b00885.

Yeatts, A. B. and Fisher, J. P. (2011) 'Bone tissue engineering bioreactors: Dynamic culture and the influence of shear stress', *Bone*. Elsevier Inc., 48(2), pp. 171–181. doi: 10.1016/j.bone.2010.09.138.

Yuan, L., Ding, S. and Wen, C. (2019) 'Bioactive Materials Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures : A review', *Bioactive Materials*. Elsevier, 4(1), pp. 56–70. doi: 10.1016/j.bioactmat.2018.12.003.

Zhang, X. Y. *et al.* (2018) 'Effect of porosity variation strategy on the performance of functionally graded Ti-6Al-4V scaffolds for bone tissue engineering', *Materials and Design*. Elsevier Ltd, 157, pp. 523–538. doi: 10.1016/j.matdes.2018.07.064.