

**PEMBUATAN ORTHOSIS TANGAN MENGGUNAKAN
METODE REVERSE ENGINEERING DAN RAPID
PROTOTYPING**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Dhimas Adi Waluyo

No. Mahasiswa : 16525064

NIRM : 2016070532

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini benar-benar hasil kerja saya sendiri yang sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya maupun tulisan yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali kutipan yang secara tertulis saya jelaskan setiap sumbernya. Apabila dikemudian hari pernyataan saya tidak benar dan melanggar hak kekayaan intelektual, saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 3 Maret 2021

Penulis



METERAI
TEMPEL
16148AHF917887083
6000
ENAM RIBU RUPIAH

METERAI
TEMPEL
16148AHF917887088
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Dhimas Adi Waluyo

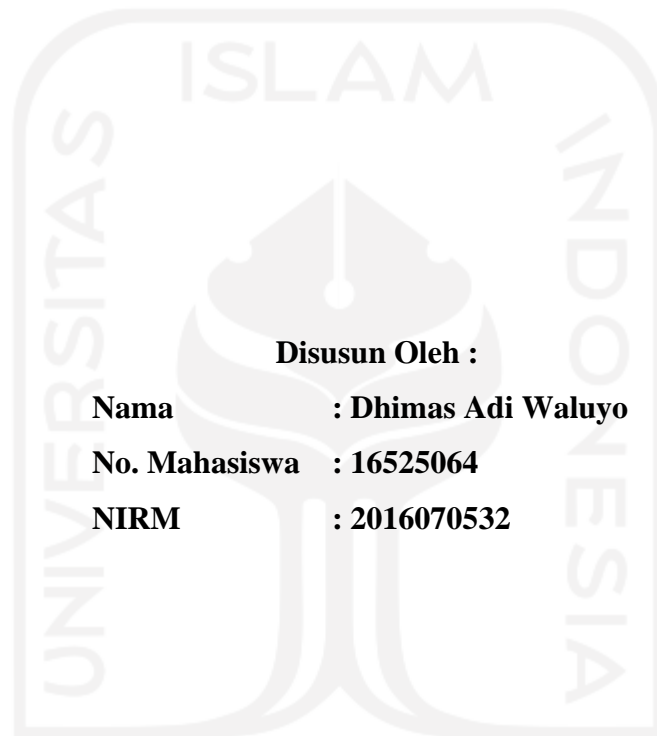
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PEMBUATAN ORTHOSIS TANGAN MENGGUNAKAN

METODE REVERSE ENGINEERING DAN RAPID

PROTOTYPING

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :


Nama : Dhimas Adi Waluyo

No. Mahasiswa : 16525064

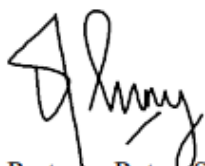
NIRM : 2016070532

Yogyakarta, 3 Maret 2021

Pembimbing I,


Dr. Ir. Paryana Pusaputra, M. Eng.

Pembimbing II,


Finny Pratama Putra, S.T., M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PEMBUATAN ORTHOSIS TANGAN MENGGUNAKAN
METODE REVERSE ENGINEERING DAN RAPID
PROTOTYPING

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Dhimas Adi Waluyo

No. Mahasiswa : 16525064

NIRM : 2016070532

Tim Penguji

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Ketua



Tanggal : 21 Maret 2021

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

Anggota I



Tanggal : 21 Maret 2021

Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc.

Anggota II



Tanggal : 21 Maret 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiono, S.T., M.Eng.



HALAMAN PERSEMBAHAN



*Untuk Ibu, Ayah, Kakak dan
keluargaku Tercinta*

HALAMAN MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Dan sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al Insyiroh : 5-6)

Peseorang yang putus asa melihat kesulitan dalam setiap kesempatan, tetapi orang yang optimis melihat peluang dalam setiap kesulitan.

(Ali bin Abi Thalib R.A)

“Jadilah orang yang dapat bermanfaat bagi semua hal walau sekecil apapun”

KATA PENGANTAR

“Assalamu’alaikum Warrahmatullahi, Wabarokatuhu”

Alhamdulillahirobbil’alamin, puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, karunia, serta hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tidak lupa kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita menuju kehidupan yang lebih baik melalui ajaran islam. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, kasih sayang dan semangat kepada penulis.
2. Seluruh Dosen Teknik Mesin FTI UII yang telah banyak mengajarkan ilmunya dengan sepenuh hati.
3. Bapak Dr.,Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Finny Pratama Putera, M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 penulis yang tidak lelah memberikan ilmu dan arahan ketika bimbingan laporan tugas akhir ini.
4. Teman-teman seperjuangan di Teknik Mesin UII yang tidak henti-hentinya saling membantu dan saling menyemangati satu sama lain.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini telah disusun dengan sebaik baiknya, namun karena adanya keterbatasan yang memungkinkan masih terjadi kesalahan maupun kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, segala macam kritik dan saran bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan ini. Harapan dengan adanya laporan tugas akhir ini semoga dapat bermanfaat bagi semuanya.

“Wabillahitaufiq walhidayah”

“Wassalamu ’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu”

Yogyakarta, 20 Juli 2020

Penulis,



Dhimas Adi Waluyo

16525064



ABSTRAK

Orthosis adalah produk atau perangkat yang mendukung bagian atau sendi tubuh dimana perangkat ini memberikan stabilitas, dukungan, posisi, dan perlindungan. Alat ini digunakan untuk membantu pasien menjadi lebih mandiri dan fungsional dengan tugas-tugas seperti kegiatan sehari-hari. Salah satu jenis orthosis yaitu orthosis tangan. Orthosis tangan adalah alat terapi yang digunakan untuk membatasi, mengontrol atau memodifikasi karakteristik struktural dan fungsional pada lengan bagian bawah agar tidak terjadi kecacatan secara permanen. Orthosis tangan di pasaran pada umumnya mempunyai banyak kekurangan, seperti keluhan pasien yang mengalami sakit nyeri pada kelenturan suatu titik tertentu pada lengan bagian bawah ketika digunakan dalam waktu yang lama karena tidak sesuainya bentuk geometris tangan sehingga kenyamanan saat digunakan menjadi berkurang. Kemudian jenis fabrikasi orthosis tangan yang digunakan dalam pembuatan juga masih secara tradisional, padahal fabrikasi tersebut bisa sangat melelahkan dan menyakitkan bagi pasien. Oleh karena itu dibutuhkan desain orthosis tangan dengan kostumisasi yang tinggi serta keakuratan anatomi dan geometri dari bentuk tangan pasien yang baik sehingga dapat meningkatkan kenyamanan saat digunakan. Dengan adanya pengembangan teknologi baru seperti penggunaan *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping*, orthosis tangan ini dapat dibuat dengan bentuk produk yang khas, nyaman digunakan, mudah, cepat, dan menghemat bahan dalam pengerjaan, serta hasil produk yang dihasilkan lebih presisi dan detail. Untuk pembuatan model orthosis tangan ini menggunakan alat *Additive Manufacturing* seperti mesin cetak 3 Dimensi (*3D Print*) serta alat *Reverse Engineering* berupa *3D Scanner*.

Kata Kunci : Orthosis, *Reverse Engineering*, *Rapid Prototyping*, *3D Scan*, *3D Print*, Segmentasi

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Reverse Engineering.....	10
2.1.2 3D Scanner	11
2.1.3 Rapid Prototyping.....	11
2.1.4 Proses Umum Produksi Model RP Dalam Aplikasi Medis.....	13
2.1.5 Metode RE menggunakan Computer Aided Design (CAD).....	14
2.1.6 <i>PowerSHAPE</i>	16
2.1.7 <i>Meshmixer</i>	17
2.1.8 Orthosis.....	17
Bab 3 Metode Penelitian	21
3.1 Alur Penelitian	21

3.2	Peralatan dan Bahan.....	22
3.3	Perancangan	22
3.3.1	Identifikasi Masalah dan Tujuan Perancangan.....	22
3.3.2	Menentukan Kebutuhan Pasien dan Konsep Desain.....	23
3.3.3	Melakukan <i>3D Scanning</i>	25
3.3.4	Melakukan Pengolahan Data Hasil Pemindaian (<i>3D Scan</i>) dan Permodelan CAD.....	26
3.3.5	Analisis Kekuatan Material Menggunakan <i>Finite Element</i>	32
3.3.6	Mencetak Produk Menggunakan <i>3D Printer</i>	34
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	37
4.1	Hasil Perancangan.....	37
4.1.1	Kenyamanan dan Keakuratan bentuk	37
4.1.2	Proses Desain dan Pemindaian.....	38
4.1.3	Proses <i>3D Print</i>	39
4.2	Hasil Perbandingan Pembuatan Menggunakan Metode RE dan RP dengan Metode Tradisional	40
4.3	Hasil Pengujian Material	41
Bab 5	Penutup.....	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran Untuk Penelitian Selanjutnya	48
Daftar Pustaka	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Tabel reverensi penelitian.....	8
Tabel 3-1	<i>Properties</i> material PLA.....	32
Tabel 4-1	Perbandingan Pembuatan Orthosis Tangan.....	40
Tabel 4-2	perbandingan hasil produk orthosis tangan	41
Tabel 4-3	Data hasil percobaan rata-rata besar kelendutan maksimal (δ maks) Tiap Specimen	43
Tabel 4-4	Data hasil perhitungan modulus elastisitas (E) tiap specimen	43
Tabel 4-5	Data hasil perhitungan Kekakuan spesifik (specific stiffness) tiap specimen	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Membandingkan waktu metode tradisional dengan waktu yang diusulkan oleh pencetakan 3D.	6
Gambar 2-2	Proses umum produksi model RP untuk aplikasi medis.....	13
Gambar 2-3	Proses umum produksi model RP untuk aplikasi industri	14
Gambar 2-4	Kepadatan Material (<i>Material Density</i>).....	19
Gambar 2-5	<i>Young's Modulus</i> Material.....	19
Gambar 2-6	Kekuatan Spesifik Material (<i>Material Specific Strength</i>).....	20
Gambar 2-7	Kekakuan Spesifik Material (<i>Material Specific Stiffness</i>).....	20
Gambar 3-1	Alur Penelitian	21
Gambar 3-2	Tahapan yang harus diikuti dalam pembuatan orthosis tangan dengan metode RE dan AM.....	23
Gambar 3-3	Proses <i>3D Scanning</i>	26
Gambar 3-4	Pembuatan <i>Guide Line</i>	27
Gambar 3-5	Pembuatan <i>surface</i>	27
Gambar 3-6	Proses <i>sculpting</i> menggunakan <i>Meshmixer</i>	29
Gambar 3-7	Proses pembuatan lubang dan penebalan menggunakan fitur <i>Pattern</i>	29
Gambar 3-8	Pembuatan garis puzzle pada bagian kiri (A) dan kanan (B)....	30
Gambar 3-9	Pembuatan surface pada bagian kanan dan kiri	31
Gambar 3-10	Pembuatan surface pada bagian atas.....	31
Gambar 3-11	Pembuatan dudukan baut	31
Gambar 3-12	Model yang sudah di- <i>subtract</i> kemudian siap untuk dilakukan pencetakan menggunakan <i>3D Print</i>	32
Gambar 3-13	Posisi pembebanan dan tumpuan.....	33
Gambar 3-14	Hasil tegangan maksimal Von Mises.....	33
Gambar 3-15	Pengaturan atau <i>setting</i> proses <i>3D Print</i> tiap bagian	34
Gambar 3-16	Proses pencetakan beserta estimasi waktu menggunakan <i>3D Print</i> masing-masing bagian ; A) atas belakang (4 jam 51 menit), B) atas depan (4 jam 28 menit), C) bawah depan(6 jam 8 menit), D) bawah belakang (4 jam 32 menit).	35

Gambar 3-17	A) Hasil 3D print sebelum diampelas atau dihaluskan permukaannya , B) Hasil 3D Print sesudah diampelas atau dihaluskan	36
Gambar 4-1	Pasien mencoba menggunakan dan melepas orthosis	38
Gambar 4-2	Pasien mencoba menggunakan dan melepas orthosis	42
Gambar 4-3	Gambar pembebanan specimen	42
Gambar 4-4	Gambar dimensi specimen.....	42
Gambar 4-5	Data grafik perhitungan modulus elastisitas (E) tiap specimen.	44
Gambar 4-6	<i>Young's Modulus Material</i>	44
Gambar 4-7	Kepadatan Material (<i>Material Density</i>).....	45
Gambar 4-8	Kekakuan Spesifik Material (<i>Material Specific Stiffness</i>).....	46



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada pasien dengan kondisi cacat temporal atau permanen seperti pasien pasca stroke, *Cerebral Palsy*, dan patah tulang seringkali timbul gejala kehilangan kekuatan dan ketangkasan, kelenturan, kontraktur otot, timbul rasa nyeri, serta pergerakan abnormal pada otot tangan bagian bawah. Tanpa perawatan kelenturan atau pencegahan kontraktur yang tepat, tangan pasien berisiko dapat berubah bentuk menjadi kepalan dengan adanya perpendekan otot fleksor jari dan jaringan lunak sehingga sulit untuk disembuhkan. Hal ini tentu dapat mengganggu aktivitas dan kualitas hidup pasien. (Aukje Andringa. et al. 2013).

Sejak tahun 2007 data penyandang disabilitas di Indonesia melalui Riskesdas (Riset Kesehatan Dasar). Berdasarkan hasil survei Riskesdas (Riset Kesehatan Dasar) yang diselenggarakan oleh kementerian kesehatan, prevalensi anak dengan cerebral palsy di Indonesia adalah 0,09% dari jumlah anak berusia 24-59 bulan pada tahun 2013 (Buletin jendela data dan informasi. 2014).

Kemudian menurut Depkes RI 2011, dari sekian banyak kasus fraktur di Indonesia, fraktur pada ekstremitas bawah akibat kecelakaan memiliki prevalensi yang paling tinggi diantara fraktur lainnya yaitu sekitar 46,2%. Dari 45.987 orang dengan kasus fraktur ekstremitas bawah akibat kecelakaan, 19.629 orang mengalami fraktur pada tulang femur atau tangan (Depkes RI.2011).

Untuk menghindari adanya perpendekan otot fleksor jari dan jaringan lunak pada lengan bawah maka dibutuhkan adanya alat terapi berupa Orthosis tangan. Orthosis tangan adalah alat terapi yang digunakan untuk membatasi, mengontrol atau memodifikasi karakteristik struktural dan fungsional pada lengan bagian bawah agar tidak terjadi kecacatan secara permanen. Saat ini, penggunaan alat tersebut dapat dengan mudah ditemukan di pasaran, namun beberapa aspek kenyamanan dan desain yang sesuai dengan kasus penderita menjadi pilihan utama dalam pemilihan orthosis tangan. Jenis fabrikasi yang digunakan dalam pembuatan orthosis juga masih secara tradisional, padahal fabrikasi tersebut bisa sangat

melelahkan dan menyakitkan bagi pasien. (*Physical Rehabilitation Programme*, 2014). Fabrikasi orthosis pada umumnya berbahan material seperti gypsum (untuk gips seperti patah tulang, dll) yang masih menggunakan cara manual dengan beberapa tahap pembuatan seperti membuat cetakan terlebih dahulu, pembuatan adonan, penyesuaian dan permodelan plester dan lain-lain yang cukup sulit serta membutuhkan banyak kehadiran pasien. Kemudian orthosis tangan pada umumnya mempunyai sifat berat, panas, gatal, serta tidak boleh terkena air.

Beberapa pasien pengguna dari orthosis tangan ini mempunyai banyak keluhan seperti mengalami sakit nyeri pada kelenturan suatu titik tertentu pada lengan bagian bawah ketika digunakan dalam waktu yang lama sehingga kenyamanan saat digunakan menjadi berkurang. Apabila orthosis tangan semakin lama digunakan maka sakit yang dirasakan oleh pasien semakin meningkat, (Aukje Andringa. et al. 2013) Hal ini terjadi karena orthosis yang dijual di pasaran diproduksi secara massal sehingga kurang begitu detail dalam memperhatikan pentingnya faktor kenyamanan pada tiap pasien. Padahal faktor kenyamanan tersebut dihasilkan dari keakuratan anatomi dan geometri bentuk orthosis pada setiap kasus pasien dengan keluhan yang berbeda-beda. Oleh karena itu dibutuhkan desain orthosis tangan dengan kostumisasi yang tinggi serta keakuratan anatomi dan geometri dari bentuk tangan pasien yang baik sehingga dapat meningkatkan kenyamanan saat digunakan. (Gabriele Baronio. et al. 2016)

Dengan adanya pengembangan teknologi baru seperti penggunaan *Rapid Prototyping*, salah satunya alat pencetak 3D (*3D Print*), saat ini bidang medis sudah mulai bisa menggunakan teknologi tersebut. Penggunaan *Rapid Prototyping* (RP) berbentuk *Additive Manufacturing* (AM) di bidang medis dinilai lebih efektif dan efisien dalam pembuatan suatu produk karena dapat mencetak dengan bentuk produk yang khas, mudah, cepat, dan menghemat bahan dalam pengerjaan, serta hasil produk yang dihasilkan lebih presisi dan detail. Dengan begitu teknologi AM juga dapat diterapkan di bidang ortopedi dan rehabilitasi terutama pada pembuatan orthosis tangan. (Sushant Negi. et al. 2012) Untuk pembuatan model orthosis tangan menggunakan alat *Additive Manufacturing* seperti mesin cetak 3 Dimensi (*3D Print*), maka diperlukan pembentukan model 3D dari bentuk anatomi dan geometri tangan pasien. Oleh karena itu dibutuhkan metode *Reverse Engineering*

atau metode rekayasa balik untuk memperoleh data model 3D dari anatomi dan geometri tangan pasien tersebut yang kemudian dapat digunakan untuk proses selanjutnya, yaitu proses pengolahan data desain model menggunakan aplikasi *Computer Aided Design (CAD)* kemudian dicetak menggunakan 3D print.

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan dan meninjau secara kritis fase produksi orthosis tangan menggunakan RP/RE tipe industri menggunakan *3d scanner*, perangkat lunak *CAD PowerSHAPE*, *Meshmixer* dan *3D printer*. Tujuan utama dari jurnal ini yaitu untuk menyoroti masalah pada proses RE/RP agar dapat dikembangkan untuk keperluan industri dan untuk mempromosikan dan memandu upaya penelitian dan eksperimen lebih lanjut terutama pada fase pemrosesan data 3d di bidang ortopedi maupun bidang medis lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, berikut adalah rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana membuat produk orthosis tangan menggunakan metode RE/RP dengan *3d scanner* dan *3d printer* dengan efektif dan efisien ?
2. Bagaimana membuat produk orthosis tangan yang sesuai dengan kebutuhan medis menggunakan metode RE/RP dengan *3D scanner* dan *3D printer* ?
3. Bagaimana bentuk konsep desain orthosis tangan yang mempunyai keunggulan-keunggulan yang lebih baik daripada bentuk orthosis yang sudah ada di pasaran ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini agar penjelasannya tidak menyimpang dan terarah sebagai berikut ;

1. Orthosis tangan yang dibuat yaitu jenis orthosis tangan untuk pergelangan tangan (*Wirst Hand Orthosis*) yang ditujukan untuk penderita patah tulang atau *Celebral palsy*.

2. Penelitian tidak membahas lebih dalam mengenai hal-hal yang bersifat medis seperti orthopedi dan yang lainnya.
3. Desain menggunakan *software PowerSHAPE* dan *Meshmixer*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan penelitian ini yaitu :

- Mengetahui, menerapkan dan meninjau secara kritis fase produksi orthosis tangan menggunakan RP/RE menggunakan *3d scanner*, perangkat lunak CAD *PowerSHAPE*, *Meshmixer* serta *3d printer*.
- Dapat membandingkan pembuatan orthosis tangan menggunakan metode tradisional dengan metode RE dan RP

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat mempromosikan dan memandu upaya penelitian dan eksperimen lebih lanjut mengenai RE/RP terutama pada fase pemrosesan data 3D di bidang ortopedi maupun bidang medis lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini diuraikan dalam lima bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Bab 1 berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan dan sistematika penulisan. Bab 2 berisi kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi dari perancangan. Bab 3 berisi alur penelitian, alat dan bahan serta tahapan-tahapan proses kerja. Bab 4 membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari perancangan dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Sedangkan kesimpulan dari hasil perancangan serta saran untuk penelitian dijelaskan di Bab 5.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Saat ini orthosis tangan banyak digunakan oleh para pasien penderita dengan kondisi cacat temporal atau permanen seperti pasien pasca *stroke*, *Cerebral Palsy*, dan patah tulang sebagai alternatif alat terapi untuk membatasi, mengontrol atau memodifikasi karakteristik struktural dan fungsional pada lengan bagian bawah agar tidak terjadi kecacatan secara permanen. Namun keluhan-keluhan rasa sakit dan tidak nyaman oleh para pasien pengguna orthosis tangan ini masih sering terjadi. Pasien tersebut merasakan sakit nyeri di beberapa titik tertentu pada bagian lengan bawah saat menggunakan alat tersebut dalam waktu yang cukup lama. Hal ini disebabkan karena orthosis yang digunakan masih kurang detail dalam memikirkan faktor kenyamanan yang dihasilkan dari keakuratan anatomi dan geometri bentuk tangan pasien.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ingrid van de Port dan Jan-Willem Meijer yang berjudul "*Long-Term Use of a Static Hand-Wrist Orthosis in Chronic Stroke Patients: A Pilot Study*" dijelaskan dari data penelitian yang mereka peroleh menunjukkan bahwa sejumlah pasien stroke kronis tidak dapat mentolerir orthosis statis selama minimal 8 jam per hari selama periode jangka panjang setidaknya satu tahun. Tanpa peluang perawatan yang tepat, pasien-pasien ini akan tetap berisiko dan akan mengalami masalah dengan kegiatan sehari-hari dan pemeliharaan kebersihan. Oleh karena itu, perlu untuk menemukan intervensi lain yang dapat ditanggung oleh pasien stroke ini. Dari penelitian ini, kasus tersebut dapat dialami juga oleh pasien penderita yang memiliki gejala yang sama seperti stroke. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang dapat menambah kenyamanan dan mengurangi rasa sakit pada orthosis tangan saat digunakan dalam waktu yang lama serta keakuratan anatomi dan geometri dari bentuk tangan pasien yang baik.

Pada penelitian orthosis tangan yang dilakukan oleh CP Agudelo-Ardila, GC Prada-Botía, dan PH Rodrigues G yang berjudul "*Orthotic prototype for upper limb printed in 3D: A efficient solution*". Di dalam penelitian ini menjelaskan

tentang metodologi pembuatan prototipe orthosis tangan yang dicetak dalam 3D, melalui metode *Additive manufacturing* (AM) dan *Reverse Engineering* (RE), yang disajikan sebagai teknologi alternatif yang sangat baik untuk memecahkan masalah cetakan plester tradisional. Melalui penelitian ini dilakukan perancangan orthosis yang dievaluasi, kemudian melakukan simulasi struktural berdasarkan analisis elemen hingga (FEA), dan memanfaatkan biomimetika untuk menjamin produk yang layak secara struktural; selain membandingkan metode proses produksi orthosis saat ini dengan yang tradisional, dalam beberapa faktor seperti waktu dan biaya pembuatan, serta untuk mendapatkan desain prototipe orthosis yang lebih ringan dan dapat dilepas dengan kemungkinan adanya ventilasi untuk bagian tangan dan lengan bawah.

Hasil dari penelitian ini yaitu metodologi yang dijelaskan di atas secara geometris dengan memuaskan, bahwa sudah sesuai struktur anatomi anggota studi, untuk menjamin hasil terbaik. Tabel 1 menunjukkan tabel perbandingan antara produksi dan waktu pemrosesan yang diperlukan untuk melakukan imobilisasi *antebraquiopalmar* dengan metode tradisional yaitu plester, dan metode AM. Data yang disajikan pada Tabel 1 diambil dari *associação mineira de reabilitação* di *Belo Horizonte*, Brazil.

Proses	Waktu (min)	Hadir Pasien
Metode Tradisional		
Analisis daerah yang terkena (koreksi trauma)	15	X
Persiapan personel dan bahan-bahan yang diperlukan	5	
Membasahi dan penempatan perban gumpalan	10	X
Membasahi dan aplikasi plester perban	8	X
Pemodelan dan pengaturan plester	12	X
Total Waktu	50	
Pencetakan 3D		
Analisis daerah yang terkena dampak	5	X
Scan anggota	15	X
Pemodelan desain CAD 3D	180	
Mencetak	240	
Total waktu	440	

Gambar 2-1 Membandingkan waktu metode tradisional dengan waktu yang diusulkan oleh pencetakan 3D.

Sumber : CP Agudelo-Ardila et al. (2016).

Dari gambar tabel di atas terlihat bahwa total waktu pembuatan orthosis tangan menggunakan pencetakan 3D (*3D Print*) memiliki total waktu yang lebih

lama dengan metode pembuatan secara tradisional kemudian jumlah kehadiran pasien dalam pembuatan orthosis dengan menggunakan metode *3D Print* juga lebih sedikit dibandingkan dengan pembuatan metode tradisional, hal ini menunjukkan bahwa metode *3D Print* dinilai lebih efektif. Namun dalam penggunaan metode pencetakan 3D ini membutuhkan software CAD khusus serta teknisi dengan keterampilan khusus.

Penelitian dan perancangan juga pernah dilakukan oleh peneliti Sami Harran dan Alberto Signoroni di dalam judul penelitiannya yaitu “*A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process*”. Pada penelitian tersebut menjelaskan tentang pembuatan orthosis tangan menggunakan metode *Reverse Engineering* dengan menggunakan Alat Pemindai 3 Dimensi (*3D scanner*) dan *Rapid Prototyping* dengan menggunakan alat cetak 3 dimensi (*3D printing*). Mereka merancang dan menguji langkah-langkah penting dari seluruh proses produksi dengan penekanan khusus pada perolehan akurat geometri lengan bawah kemudian diproduksi selanjutnya menjadi model orthosis yang dapat dicetak. Namun pada proses permodelan pembuatan orthosis menggunakan software *Computer Aided Design (CAD)* dalam penelitian tersebut menjadi perhatian utama, karena dibutuhkan keterampilan khusus dan software CAD dengan fitur yang memadai, mengingat bidang medis dan teknisi orthopedi masih belum begitu memahami keterampilan tersebut.

Dari permasalahan yang ada, pembuatan orthosis tangan ini membutuhkan pengembangan alur dan metode produksi serta peninjauan secara kritis fase produksinya. Metode RE/RP yang digunakan ditinjau secara kritis melalui efektivitas dan timbulnya permasalahan pada tiap tahapan produksinya, kemudian faktor kenyamanan dan keakuratan juga ditinjau secara kritis sehingga dapat dianalisis dan dikembangkan.

Tabel 2-2 Tabel referensi penelitian

Tahun	Peneliti	Penelitian	Jenis Metode	Variabel	Parameter	Tujuan	Hasil Penelitian
2013	Aukje Andringa , Ingrid van de Port, & Jan-Willem Meijer	Long-Term Use of a Static Hand-Wrist Orthosis in Chronic Stroke Patients: A Pilot Study	Wawancara dengan pasien stroke pengguna Orthosis.	Keluhan pasien dalam penggunaan orthosis pada pasien stroke dalam waktu yang lama.	Kenyamanan dan timbulnya rasa sakit.	Menggambarkan penggunaan jangka panjang dari Orthosis tangan dan kenyamanan memakai orthosis pada pasien stroke kronis untuk memperoleh data awal untuk mempelajari lebih lanjut pengobatan populasi pasien tertentu.	- Data percontohan menunjukkan bahwa sejumlah pasien stroke kronis tidak dapat mentolerir orthosis statis selama setidaknya 8 jam per hari selama jangka panjang periode setidaknya satu tahun.
2016	GC Prada-Botía, dan PH Rodrigues G	Orthotic prototype for upper limb printed in 3D: A efficient solution	Reverse Engineering dan Rapid prototyping dibandingkan dengan metode tradisional.	Proses produksi yang dilakukan menggunakan metode tradisional dan metode pencetakan 3D.	Waktu, jumlah kehadiran pasien, keakuratan geometri, dan harga.	Realisasi dengan menyediakan prototipe orthosis yang dibuat khusus, dengan solusi yang lebih nyaman, higienis, dan estetis, dimana pada gilirannya memungkinkan untuk pengurangan waktu penggunaan cetakan plester.	- Data perbandingan waktu pada metode tradisional dengan waktu yang diusulkan oleh pencetakan 3D, waktu tidak kontinu tetapi ditempatkan pada tahap menengah. (Tabel 2-1)

2016	Gabriele Baronio, Sami Harran, & Alberto Signoron	A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process	Reverse Engineering dan Rapid prototyping.	fase produksi orthosis tangan dalam proses jenis RE/RP industri.	akurasi data, efisiensi proses, dan keserbagunaan desain yang sesuai.	Mengetahui, menerapkan dan meninjau secara kritis fase produksi orthosis tangan menggunakan RP/RE tipe industri.	<ul style="list-style-type: none"> - Solusi scanning 3D optik mampu menjamin tingkat akurasi yang tinggi dari scan tunggal dan biaya rendah. - Total waktu pencetakan sekitar 11 jam. Total dari semua akuisisi, pemodelan, dan fase pencetakan, kami memperoleh waktu memimpin sekitar 1 hari kerja (didominasi oleh waktu pencetakan) sehingga kompatibel.
2019	Ancuța Păcurar, Monica Rău, Răzvan Păcurar, Eugen Guțiu, Laura Bacali, & Cosmin Cosma	Research regarding the design and manufacturing of hand orthosis by using Fused Deposition Modeling technology	Reverse Engineering dan Rapid prototyping.	Optimiasi bentuk orthosis serta ketahanan tekan.	Teknologi yang dapat digunakan yaitu mesin FDM.	Dengan menggunakan teknologi AM akan menghasilkan orthosis yang mampu mempertahankan karakteristik utama dari immobilisasi, tetapi dengan peningkatan level dibandingkan dengan varian klasik, jenis orthosis ini juga didesain ulang dari sudut pandang estetika, dan fleksibilitas di area yang sensitif.	<ul style="list-style-type: none"> - Desain bentuk dukungan tangan (<i>hand support</i>) dengan waktu proses desain yang sesuai - Penggunaan metode AM dalam pengembangan perangkat memungkinkan kita untuk mengikuti dan mengejar proses desain - Proses AM, seperti FDM dapat digunakan untuk pembuatan orthosis yang disesuaikan.

2.2 Dasar Teori

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa landasan teori yang digunakan untuk mendasari teori pada penelitian ini.

2.2.1 Reverse Engineering

Rekayasa terbalik (*Reverse Engineering*) adalah pembuatan model desain menggunakan bantuan *Computer Aided Design (CAD)* yang mengacu pada objek fisik yang dapat digunakan sebagai alat desain untuk menghasilkan salinan objek, mengekstraksi konsep desain model yang ada, atau mereka ulang bagian yang ada. Rekayasa terbalik (*Reverse Engineering*) sekarang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti di bidang manufaktur, desain industri, industri otomotif dan yang lainnya.

RE umumnya didefinisikan sebagai proses menganalisis objek atau sistem yang ada, termasuk perangkat keras dan perangkat lunak, untuk mengidentifikasi komponen dan keterkaitannya, dan menyelidiki cara kerjanya untuk mendesain ulang atau menghasilkan salinan tanpa akses ke desain dari mana ia berada dan darimana ia diproduksi. Di bidang grafik 3D dan pemodelan geometris, RE digunakan untuk merekonstruksi model 3D suatu objek dalam format geometris yang berbeda dari bentuk nyata secara fisik. (Niranjan Singh, 2012).

Target akhir dari semua proses RE adalah untuk mendapatkan data 3D yang mewakili geometri objek yang khas dari berbagai aplikasi yang dikembangkan. Ada dua jenis representasi data penggunaan akhir yang umum digunakan, terutama di bidang Pemodelan geometrik 3D, Desain teknik, dan pengembangan produk: (i) Poligon atau Segitiga *Mesh* dan (ii) *B-Spline* Rasional Tidak Seragam (NURBS). (L. C. Hieu. et al. 2010).

2.1.1.1 Medical Reverse Engineering

RE yang digunakan untuk pengembangan dan penelitian aplikasi medis disebut *Medical Reverse Engineering (MRE)*. Biasanya terlibat dalam menggunakan data pasien atau objek biomedis untuk merekonstruksi model 3D struktur anatomi dan objek yang khas untuk pengembangan berbagai produk

medis, aplikasi, dan penelitian biomedis. Persyaratan akurasi untuk MRE tergantung pada aplikasi spesifik. Untuk implan *cranio-maxillofacial*, *biomodel*, dan model pelatihan yang dipersonalisasi, persyaratan akurasi pada dasarnya tidak tinggi dibandingkan dengan RE Industri, hingga ratusan mikron. Namun, untuk alat bedah dan implan fungsional seperti implan tulang belakang, pinggul dan lutut, persyaratan akurasi sangat tinggi. (L. C. Hieu. et al. 2010).

2.1.2 3D Scanner

Pemindai 3D (*3D Scanner*) adalah perangkat yang menganalisis objek atau lingkungan dunia nyata untuk mengumpulkan data tentang bentuk dan kemungkinan penampilannya (yaitu warna). Data yang dikumpulkan kemudian dapat digunakan untuk membangun model 3 dimensi digital. (Douglas Lanman dan Gabriel Taubin, 2009).

3D Scanner bekerja seperti kamera analog, mereka memiliki bidang pandang seperti kerucut, dan hanya dapat mengumpulkan informasi tentang permukaan terbuka. Kamera mengumpulkan informasi warna tentang permukaan dalam bidang pandangnya, sedangkan pemindai 3D mengumpulkan informasi jarak tentang permukaan dalam bidang pandangnya. "Gambar" yang dihasilkan oleh pemindai 3D menggambarkan jarak ke permukaan pada setiap titik dalam gambar. Ini memungkinkan posisi tiga dimensi dari setiap titik dalam gambar untuk diidentifikasi. Pemindai 3 dimensi digunakan untuk memindai bagian geometri, menghasilkan *point cloud*, yang menentukan geometri permukaan. Terdapat dua jenis alat pemindai 3D (*3D Scanner*) yaitu kontak dan non-kontak. (Mostafa Abdel-Bary. 2015)

2.1.3 Rapid Prototyping

Rapid prototyping (RP), teknik deposisi bahan lapis demi lapis secara signifikan meningkatkan kemampuan untuk membuat model fisik dengan geometri yang tepat menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)* atau data dari teknologi pencitraan medis. RP bermanfaat dalam bidang kedokteran, karena teknologi ini memiliki kemampuan untuk membuat bagian-bagian anatomi berbentuk kompleks langsung dari data yang dipindai (*scan*) seperti gambar

tomografi terkomputerisasi (CT). Model-model ini memberikan ilustrasi yang lebih baik tentang anatomi manusia, dan digunakan untuk perencanaan pra bedah yang tepat dan untuk bantuan dalam perencanaan intensif prosedur bedah dan juga untuk membantu ahli bedah dan mahasiswa kedokteran untuk melatih berbagai prosedur bedah secara realistis. Model RP juga dapat digunakan untuk merancang implan, prostesis, dan fungsi yang disesuaikan sebagai alat komunikasi antara ahli bedah dan pasien (Dhakshyani. 2011).

RP telah terbukti bermanfaat bagi bidang prostetik dan ortotik, karena proses ini menyesuaikan dengan anatomi pasien tertentu. Karakteristik keselarasan spesifik pasien termasuk dalam model, memungkinkan untuk pengembangan geometri yang benar secara biomekanik yang meningkatkan kenyamanan, kenyamanan dan stabilitas (Noorani. 2006). Terkadang masih ada pasien yang memiliki anatomi di luar kisaran standar antara ukuran maupun dengan persyaratan khusus yang disebabkan oleh penyakit atau genetika. Dengan bantuan RP, dimungkinkan untuk membuat prostesis khusus yang tepat sesuai dengan pasien dengan biaya yang masuk akal; misalnya pola untuk mahkota gigi dan struktur implan dapat dibuat menggunakan mesin RP (L. C. Hieu. et al. 2010).

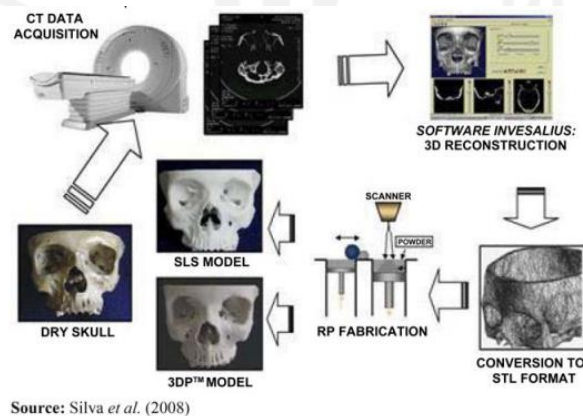
2.1.3.1 3D Printing

3D Printing atau dikenal juga sebagai *Additive Layer Manufacturing* menurut Excell, Jon (2013) adalah proses membuat objek pada 3 dimensi atau bentuk apapun dari model digital. Cara kerjanya hampir sama dengan printer laser dengan teknik membuat objek dari sejumlah layer/lapisan yang masing-masing dicetak di atas setiap lapisan lainnya. Teknologi ini sendiri sebenarnya sudah berkembang sejak sekitar 1980-an namun belum begitu dikenal hingga tahun 2010-an ketika mesin cetak 3D ini dikenalkan secara komersial. Dalam sejarahnya *Printer 3D* pertama yang bekerja dengan baik dibuat oleh Chuck Hull dari *3D System Corp* pada tahun 1984. Sejak saat itu teknologi *3D printing* semakin berkembang dan digunakan dalam purwarupa (model) maupun industri secara luas seperti dalam arsitektur, otomotif, militer, industri medis, fashion, sistem informasi geografis sampai *biotech* (Sadana Kumara. 2018)

Di dalam bidang ortopedi dan rehabilitasi, perawatan pasien saat ini semakin dipengaruhi oleh pengembangan teknologi *Additive Manufacturing* salah satunya *3D printing* karena penggunaan alat tersebut mulai diterapkan dalam bidang medis. Oleh karena itu, penggunaan *3D printer* atau *Additive Manufacturing* membutuhkan model geometrik orthosis untuk dicetak menggunakan metode *Reverse Engineering*.

Keunggulan *3D Printing* dibandingkan teknik lainnya adalah *3D Printing* termasuk alat AM dengan kecepatan fabrikasi yang baik dan biaya bahan yang rendah. Kekurangannya yaitu pada permukaan akhir yang kasar, kekuatan sedang, pemrosesan *Hand Free post processing* dan ketersediaan bahan (Liu. et al. 2006). Teknologi 3DP adalah metode yang dapat diandalkan untuk membantu dalam rekonstruksi mandibula yang tepat menggunakan pelat tulang dan cangkok tulang, dan juga lebih hemat biaya jika dibandingkan dengan teknik RP lainnya (Cohen. et al. 2009 ; Hoque. 2009).

2.1.4 Proses Umum Produksi Model RP Dalam Aplikasi Medis



Gambar 2-2 Proses umum produksi model RP untuk aplikasi medis

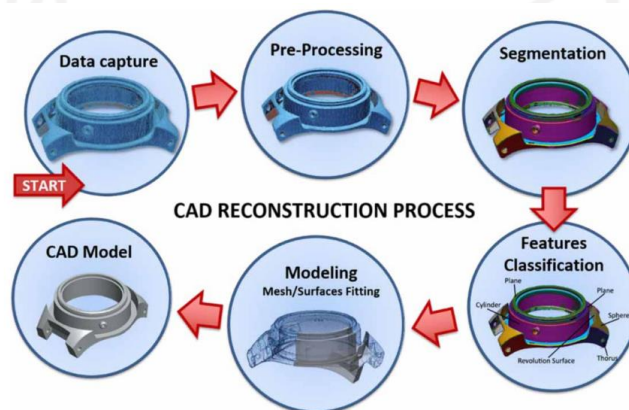
Sumber Silva. et al. (2007)

Mesin RP membutuhkan informasi CAD untuk membuat model fisik, sehingga untuk tujuan itu proses RP dapat dibagi menjadi dua fase: virtual dan fisik. Pembuatan fase virtual pertama kali dilakukan terdiri dari menggunakan alat pemrosesan gambar yang melibatkan akuisisi data dan pemrosesan gambar untuk membuat model virtual melalui simulasi dinamis dan interaktif. Pembuatan model

fisik adalah fase kedua (fisik). Akuisisi data adalah proses pengambilan gambar dengan resolusi tinggi dari anatomi manusia dengan menggunakan teknologi pencitraan medis seperti CT, MRI dan lain-lain. Setelah akuisisi data, gambar diproses oleh alat perangkat lunak yang sesuai, kemudian *output* (model virtual) ditransfer dalam format file STL ke sistem RP untuk membuat bagian fisik, yang disebut model medis (Starley. et al. 2005).

2.1.5 Metode RE menggunakan Computer Aided Design (CAD)

Kerangka umum permodelan CAD menggunakan metode RE dapat diuraikan sebagai berikut ini



Gambar 2-3 Proses umum produksi model RP untuk aplikasi industri

Sumber : Francesco Buonamici .et al. (2017)

1. Pengambilan data dan pra-pemrosesan

Akuisisi 3D dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat. Dalam beberapa dekade terakhir, banyak teknologi akuisisi 3D (3D Scanner) (misalnya tomografi, fotogrametri, CMM, pemindaian laser) dikembangkan dan digunakan dalam RE. Masing-masing dari mereka memiliki kekuatan dan keterbatasan mengenai akurasi, aksesibilitas ke permukaan target, kemudahan penggunaan, persyaratan permukaan, pencahayaan, biaya. Taksonomi yang sama dari perangkat tersebut dibuat sehubungan dengan teknik akuisisi, alat ini diklasifikasi dalam kontak atau non-kontak.

Setelah fase akuisisi (*3D Scan*), langkah selanjutnya yaitu menyiapkan data 3D yang diperoleh untuk operasi berikutnya. Langkah ini adalah bagian dari setiap proses RE dan sering menyajikan implementasi langsung, kadang-kadang dilakukan langsung oleh perangkat lunak akuisisi. Penipisan jumlah titik yang diperoleh, pendaftaran titik awan (*point cloud*), dan proses perataan hanyalah beberapa proses khas yang dilakukan untuk mengurangi kesalahan dan kompleksitas data yang diperoleh dan untuk mendapatkan 'titik awal' yang dapat digunakan untuk segmentasi.

2. Segmentasi dan klasifikasi fitur

Segmentasi adalah proses pengelompokan model *tessellated* yang diperoleh atau *point cloud* ke dalam wilayah segitiga / titik yang terpisah, di bawah beberapa kriteria geometris (misalnya analisis lengkungan). Tujuan dari langkah ini adalah untuk mencapai struktur daerah yang sedekat mungkin dengan sekumpulan fitur geometris dan permukaan yang menyusun model yang akan direkonstruksi.

Kualitas segmentasi adalah faktor penting yang perlu dipertimbangkan ketika berhadapan dengan rekonstruksi CAD, karena ini mewakili informasi penting untuk langkah-langkah pemodelan berikut dan memengaruhi alur kerja keseluruhan dari proses rekonstruksi. Memang, titik awal yang ideal untuk proses rekonstruksi CAD adalah segmentasi yang menghasilkan struktur wilayah yang mematuhi pohon fitur model (*feature tree*) CAD asli (yang mendefinisikan topologi CAD), di mana setiap wilayah yang diidentifikasi dapat dengan mudah dikaitkan dengan fitur tunggal atau diikatkan di permukaan bagian tersebut. Proses segmentasi biasanya dikontrol oleh seperangkat parameter yang menyelaraskan penyempurnaan prosedur pengenalan wilayah dan memengaruhi tipe dan dimensi dari wilayah yang diidentifikasi. (Francesco Buonamici. et al .2017)

3. Pemodelan: pembuatan / pemasangan permukaan analitik

Pembuatan dan pemasangan permukaan bisa dikatakan langkah paling penting dari keseluruhan kerangka yang disajikan, karena hasil yang diperoleh

mungkin mempunyai perbedaan yang signifikan tergantung pada strategi yang dipilih untuk melakukan tugas ini. Berbagai metode digunakan untuk menangani masalah ini dari perspektif yang berbeda dan juga memberikan hasil yang berbeda dalam jenis / format model CAD yang diperoleh, dalam keterkaitan hasil dengan model yang diinginkan / asli dan aspek terkait lainnya (misalnya kepatuhan kendala geometrik dan waktu yang diperlukan untuk membangun model).

4. *Finishing Model*

Langkah terakhir dari kerangka kerja RE, yaitu generisasi aktual dan penyelesaian model CAD, biasanya dilakukan dengan menggunakan metode yang sangat heterogen, tergantung pada keseluruhan kerangka rekonstruksi, serta jenis hasil yang diinginkan dapat diperoleh dengan menggunakan strategi RE (parametrik atau non-parametrik). Operasi khas yang mungkin diperlukan adalah penyambungan permukaan yang berdampingan atau penambahan *fillet* dan *chamfer*. Langkah pembuatan model CAD terkadang dapat dilakukan secara langsung selama pemodelan / pemasangan prosedur permukaan dan dapat dianggap sebagai langkah yang unik. (Francesco Buonamici. et al. 2017)

2.1.6 *PowerSHAPE*

PowerSHAPE adalah salah satu *software* CAD yang dapat memfasilitasi pembuatan model yang bersifat kompleks dalam permodelan 3 dimensi. *PowerSHAPE* menggabungkan kekuatan dari permodelan permukaan (*surfaces*), permodelan padat (*solids*), dan permodelan jaring (*meshes*) untuk mendesain pembuatan produk kompleks industri manufaktur seperti pembuatan cetakan (*molds*), inti cetakan, dan komponen (*parts*) yang sangat kompleks dari awal.

PowerSHAPE juga menawarkan alat permukaan (*Surfacing Tools*) yang canggih, termasuk pembuatan permukaan dari kurva dan manipulasi permukaan dinamis, memungkinkan pembuatan yang cepat dan mudah dan modifikasi selanjutnya dari permukaan CAD. Kemudian terdapat fitur yang digunakan untuk *Reverse Engineering* sehingga dapat mempercepat pengerjaan suatu model pada

bagian yang sangat kompleks dimana fitur tersebut belum tersedia di *software* CAD pada umumnya.

Berbagai kelebihan dari *PowerSHAPE* yaitu sebagai berikut.

- Dapat meng-impor berbagai macam format model dari semua sistem desain CAD.
- Dapat menemukan dan memperbaiki kesalahan kritis pada model dengan mudah.
- Dapat terus bekerja, bahkan jika Model CAD yang diimpor tidak sempurna.
- Bekerja dengan kombinasi apa pun dari *surfaces*, *solids* dan *STL meshes*.
- Dapat mengirim model jadi secara langsung ke *PowerMill* atau *FeatureCAM* untuk permesinan.
- Dapat Membagi model cetakan menggunakan *tool Wizard* sederhana.
- Dapat Terhubung secara langsung ke pemindaian 3D *Scanner* untuk rekayasa terbalik. (Shawn McNamara. Autodek).

2.1.7 Meshmixer

Meshmixer adalah sebuah aplikasi perangkat lunak CAD yang berbasis jala (*mesh*) yang digunakan untuk berbagai fungsi seperti penghalusan (*smoothing*), deformasi (*deforming*), penggabungan (*combine*), dan parameterisasi (*parameterization*). Dengan metode *drag and drop*, aplikasi CAD ini dapat dioperasikan selayaknya sebuah tanah liat yang dapat dibentuk sesuka hati seperti sedang memahat/mematung (*sculpting*). (Ryan Schmidt & Karan Sigh, 2010). Oleh karena itu, aplikasi ini sering digunakan untuk kombinasi ide dari bentuk *mesh* pada objek 3D yang berbentuk natural sehingga saat ini sudah mulai digunakan di dunia medis dalam permodelan tulang, implant, dan lainnya karena lebih mudah dalam permodelannya.

2.1.8 Orthosis

Orthosis adalah produk atau perangkat yang mendukung bagian atau sendi tubuh. Perangkat ini memberikan pasien stabilitas, dukungan, posisi, dan

perlindungan. Orthosis adalah alat yang digunakan untuk membantu pasien menjadi lebih mandiri dan fungsional dengan tugas-tugas seperti kegiatan sehari-hari. Memilih perangkat yang tepat sangat penting dalam memberikan pasien dengan dukungan, hasil, perawatan, dan hasil yang optimal.

Ada dua istilah kunci yang umum digunakan ketika membahas orthosis yaitu Belat. Belat adalah istilah yang biasanya digunakan pada orthosis yang akan menahan persendian selama proses penyembuhan, seperti belat jari yang digunakan untuk menahan jari agar tidak bengkok atau mencegah peradangan, atau belat pinggul *spica* yang dipasang pada pasien perbaikan atau penggantian pinggul pasca operasi, dan itu akan memungkinkan adanya rentang gerak tertentu yang diperlukan oleh protokol rehabilitasi. (Coppard BM. 2008)

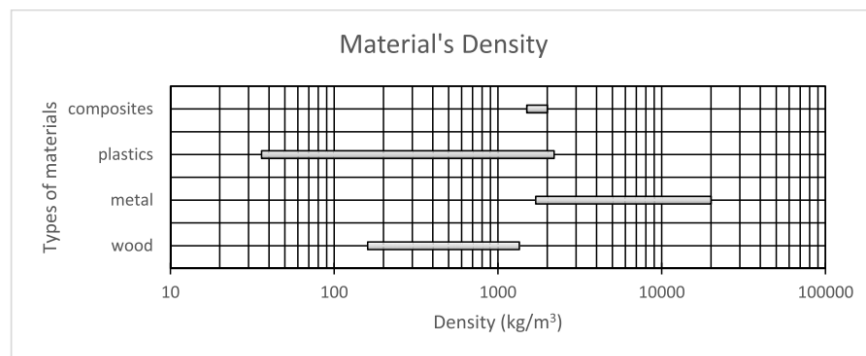
2.1.8.1 Orthosis Jari dan Tangan

Orthosis untuk jari dan tangan digunakan untuk menopang sendi atau persendian yang sakit pada tangan atau jari dan membiarkan sendi yang tidak terinfeksi. Terdapat jenis belat sendi tunggal untuk jari-jari yang tersedia, seperti *interphalangeal proksimal* (PIP) dan belat *distal interphalangeal* (DIP) yang mempertahankan rentang gerak aktif (AROM) di ruas setelah keseleo, patah tulang, atau kontraktur. Beberapa belat mempertahankan atau menahan sendi dalam posisi tetap, sedangkan belat dinamis yang bermuatan pegas memungkinkan pasien beberapa gerakan fleksi atau ekstensi sambil menerapkan gaya konstan ke arah yang diinginkan.

Ada beberapa pilihan orthosis yang tersedia untuk menopang tangan dan pergelangan tangan, tergantung pada diagnosis dan batasan gerakan yang diinginkan. Untuk diagnosa seperti *carpal tunnel syndrome*, tendonitis, atau keseleo, orthosis pergelangan tangan *cock-up*, yang menahan pergelangan tangan pada posisi netral adalah pilihan yang paling umum digunakan. Orthosis tangan ini tersedia dalam berbagai ukuran. Salah satunya adalah Orthosis Pergelangan Tangan lunak (*Wrist Hand Orthosis*) juga dapat membantu proses penyembuhan pasca operasi patah tulang. (Coppard BM. 2008)

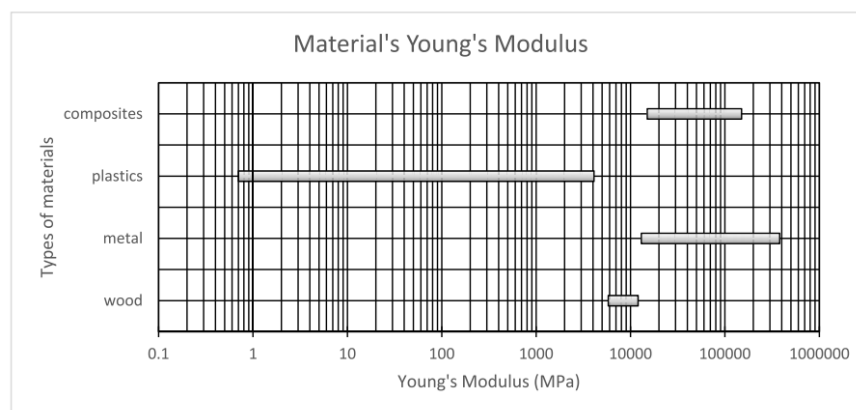
2.2.4.1 Material Orthosis Jari dan tangan

Terdapat banyak bahan material pada desain orthosis yang digunakan. Pada umumnya material yang digunakan yaitu kayu, metal dan kulit, plastic, dan *Carbon Fiber* atau komposit. Untuk spesifikasi secara spesifik, bahan material yang ideal untuk pembuatan orthosis yaitu bersifat kuat dalam menerima beban tekan atau kompresi, kaku, dan tahan lama. Dari gambar 2-3, 2-4, 2-5, dan 2-6 menunjukkan perbandingan antara kepadatan (*density*), *Young's Modulus*, Kekuatan Spesifik Material (*Material Specific Strength*), dan Kekakuan Spesifik Material (*Material Specific Stiffness*) di antara beberapa bahan yang digunakan dalam bidang ortotik masing-masing. (Farah Shahara .et al .2019)



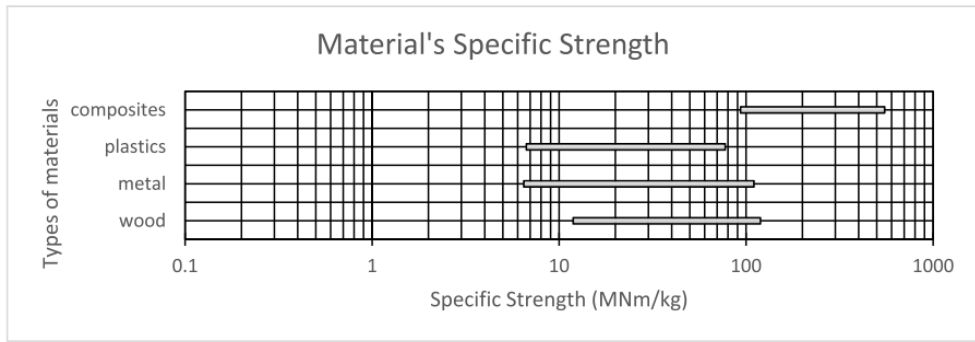
Gambar 2-4 Kepadatan Material (*Material Density*)

Sumber : Farah Shahara .et al. (2019)



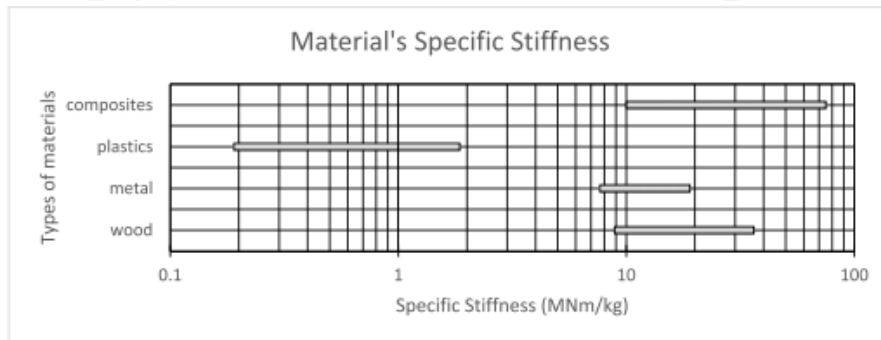
Gambar 2-5 *Young's Modulus* Material

Sumber : Farah Syazwani Shahara .et al. (2019)



Gambar 2-6 Kekuatan Spesifik Material (*Material Specific Strength*)

Sumber : Farah Syazwani Shahara .et al. (2019)



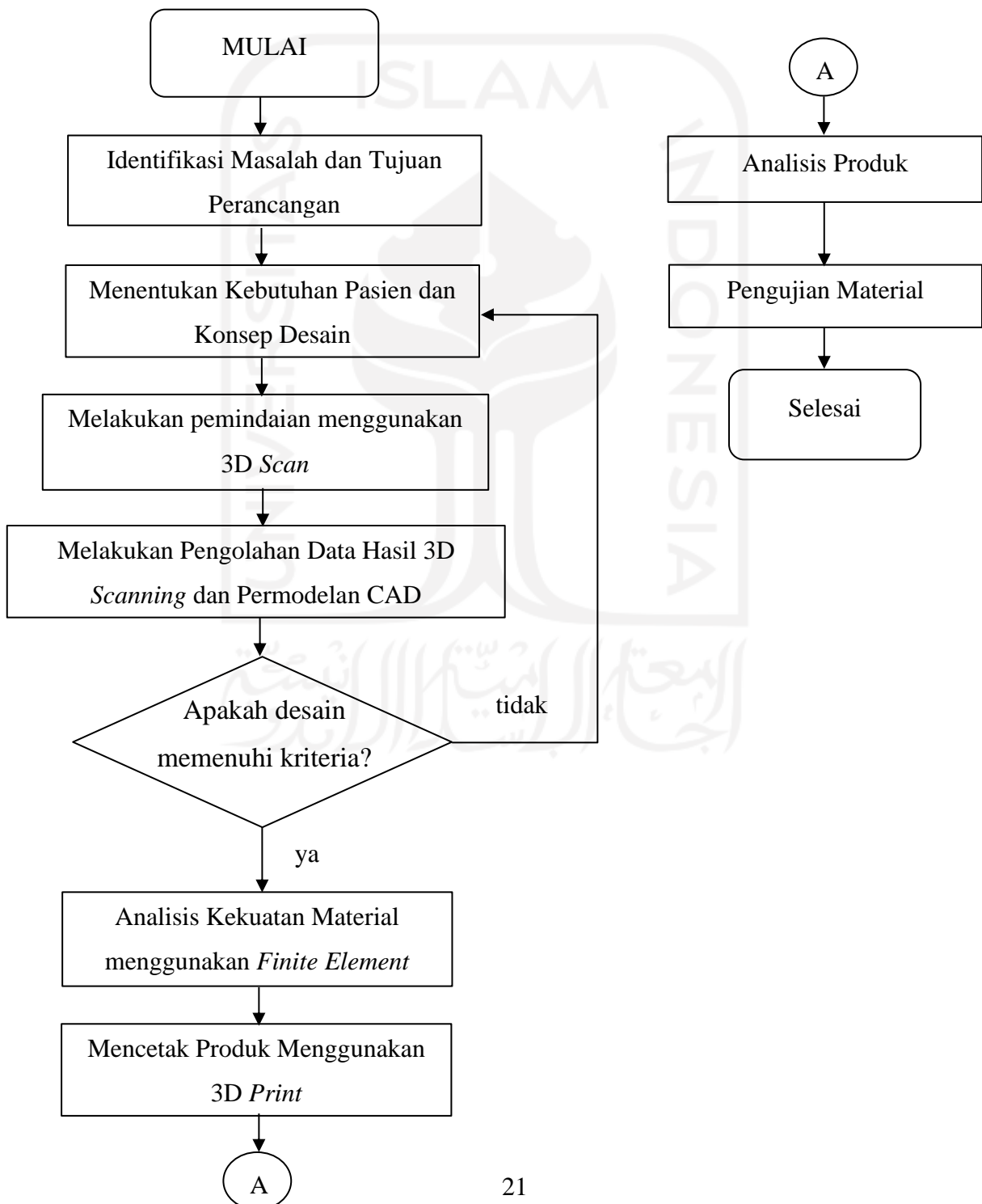
Gambar 2-7 Kekakuan Spesifik Material (*Material Specific Stiffness*)

Sumber : Farah Syazwani Shahara .et al. (2019)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Tahapan pelaksanaan perancangan dan pembuatan dapat ditunjukkan pada gambar diagram alir seperti gambar 3-1 berikut. tidak



3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

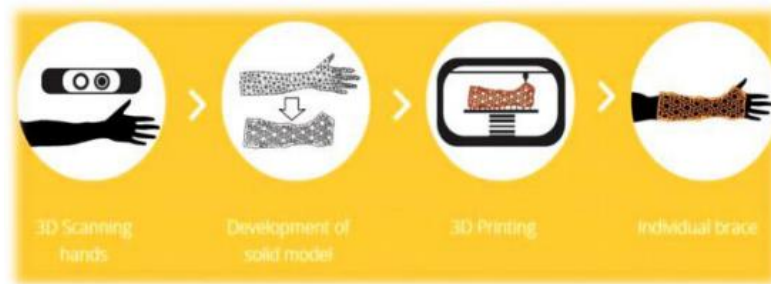
1. 3D Scanner *3D Sense 2*
2. 3D Printer *B01 Centralab* ukuran 200x200x200 mm
3. *Slicer 3D Print Cura*
4. *Software PowerSHAPE 2019*
5. *Software Meshmixer*

3.3 Perancangan

Dalam melakukan perancangan orthosis tangan ini digunakan metode RE dan AM yang harus diikuti seperti berikut ;

3.3.1 Identifikasi Masalah dan Tujuan Perancangan

Beberapa pasien pengguna dari orthosis tangan ini mempunyai banyak keluhan seperti mengalami sakit nyeri pada kelenturan suatu titik tertentu pada lengan bagian bawah dan perawatan orthosis tangan yang melelahkan ketika digunakan dalam waktu yang lama sehingga kenyamanan saat digunakan menjadi berkurang. Hal ini terjadi karena orthosis yang dijual di pasaran diproduksi secara massal sehingga kurang begitu detail dalam memperhatikan pentingnya faktor kenyamanan pada tiap pasien. Oleh karena itu dibutuhkan desain orthosis tangan dengan kostumisasi yang tinggi, keakuratan anatomi dan geometri dari bentuk tangan pasien yang baik serta perawatan perangkat yang lebih mudah sehingga dapat meningkatkan kenyamanan saat digunakan. Berdasarkan identifikasi tersebut, maka orthosis tangan ini dirancang menggunakan metode RE/RP sehingga bentuk anatomi dan geometri alat tersebut dapat menyerupai tangan pasien sesuai dengan keluhannya, kemudian fase produksi dengan efektifitas dan efisienitas yang ideal.



Gambar 3-2 : Tahapan yang harus diikuti dalam pembuatan orthosis tangan dengan metode RE dan AM

Sumber : Cosmin Cosma .et.al. (2019)

3.3.2 Menentukan Kebutuhan Pasien dan Konsep Desain

Pasien orthosis tangan dianalisa secara klinis maupun teknis pada keluhan atau penyakit yang diderita sehingga dapat diketahui kebutuhan bentuk orthosis yang akan digunakan. Pasien dianalisis secara klinis menyangkup jenis penyakit apa yang diderita pasien kemudian bagaimana cara terapi atau penyembuhannya sesuai dengan standar kedokteran. Selanjutnya pasien dianalisis secara teknis yaitu menyangkup seperti bagian tangan mana yang dibutuhkan untuk pengambilan data pemindaian menggunakan *3D Scanner*, metode apa yang dapat digunakan dalam pengolahan data *3D Scan* atau metode *Reverse Engineering* yang digunakan dalam pembuatan orthosis, kemudian bagaimana bentuk desain orthosis dengan kostumisasi tertentu yang sesuai dengan kebutuhan pasien.

Dalam kasus ini, pasien disimulasikan sedang menderita patah tulang pada tangan kanan di bagian lengan bawah yang sebelumnya sudah ditangani oleh dokter. Oleh karena itu, dibutuhkan orthosis tangan atau gips yang dapat menyangga atau menompang tulang atau sendi yang cedera agar tetap pada posisi yang tepat serta mencegah area di sekitarnya bergerak selama proses penyembuhan. Gips yang digunakan pada umumnya mempunyai kekurangan diantaranya :

1. Mudah kotor dan sulit untuk dibersihkan
2. Tidak nyaman saat digunakan, karena ketika digunakan terdapat titik-titik tekan yang tidak sesuai
3. Cukup berat
4. Tidak boleh terkena air
5. Sulit untuk dipasang maupun dilepas, bahkan ada yang hanya 1 kali pakai
6. Panas ketika digunakan sehingga timbul keringat yang dapat menyebabkan bau, gatal-gatal kemudian menyebabkan iritasi
7. Estetika yang buruk

Dengan kekurangan-kekurangan di atas maka dibutuhkan konsep desain orthosis yang dapat menghindari kekurangan tersebut sehingga orthosis nyaman ketika digunakan. Konsep desain orthosis yang akan dibuat memiliki keunggulan seperti berikut :

1. Mudah dibersihkan
2. Nyaman digunakan, titik-titik tekan sesuai
3. Ringan
4. Boleh terkena air
5. Mudah dipasang maupun dilepas, dapat dipakai berulang kali
6. Tidak panas ketika digunakan
7. Estetika yang baik

Terdapat beberapa alternatif konsep desain dari orthosis tangan seperti pada bentuk sistem pengunci, sambungan, maupun bentuk pola lubang (untuk lebih jelasnya terlampir pada lampiran) kemudian ditemukan solusi desain terbaik. Konsep desain orthosis tangan yang dipilih yaitu didesain berbentuk seperti *puzzle* sebagai pengunci/penyambung dengan 4 bagian terpisah serta dengan pola *Voronoi* untuk bagian lubang-lubang ventilasi. Bentuk orthosis dipisah menjadi 4 bagian karena untuk mempermudah proses pembuatan karena menggunakan *3D Print* dengan kapasitas dimensi kerja yang terbatas serta mempermudah pemakaian ketika akan digunakan kemudian ditambahkan dudukan baut pada salah satu sisi sebagai pengunci utama. Pola lubang yang didesain berbentuk seperti struktur

tulang yang pada setiap lubangnya mempunyai diameter tulang yang seragam sebesar 6mm.

3.3.3 Melakukan 3D Scanning

Pada proses ini terdapat beberapa langkah yang harus sesuai dengan prosedur pemindaian menggunakan *3D Scan* yang digunakan agar mendapatkan hasil data yang maksimal. Di dalam proses pemindaian juga harus memahami kebutuhan data apa saja yang dibutuhkan dalam pemindaian sehingga pemindaian dapat dilakukan dengan efektif dan efisien. Untuk mendapatkan hasil pemindaian dengan data yang sesuai maka dibutuhkan posisi objek, pencahayaan, serta alur jalannya pemindaian yang sesuai pula dengan kemampuan alat *3D Scan* yang digunakan. Alat *3D Scan* yang digunakan pada kasus ini yaitu *3d Scan Sense 2*.

Setelah mendapatkan tempat dengan kondisi cahaya yang sesuai, tangan pasien diletakkan pada posisi yang sesuai dan mudah dalam pemindaian. Pada kasus ini, tangan pasien yang akan ditangani yaitu tangan kanan bagian lengan bawah (dari siku hingga pergelangan). Oleh karena itu, dibutuhkan penyesuaian posisi tangan pasien dengan alur jalannya pemindaian oleh operator *3D Scan*. Posisi tangan pasien diletakkan pada suatu tumpuan pada siku kemudian ditegakkan membentuk siku-siku dengan sudut 90° terhadap lengan atas. Kemudian pemindaian dilakukan dengan membentuk alur melingkar 360° serta naik dan turun pada tangan pasien dengan posisi jarak optimal pemindaian antara objek dan *3D Scan* yaitu 0.45m – 2m. Alur ini digunakan karena untuk mempermudah proses pemindaian sehingga menghasilkan data yang lebih merata. Untuk pergerakan alur dalam pemindaian juga dilakukan secara perlahan agar permukaan objek yang dipindai dapat ditangkap dengan baik. Proses ini dilakukan beberapa kali hingga mendapatkan hasil yang paling baik dan sesuai dengan data profil tangan yang diinginkan. Dalam penelitian ini, pemindaian dilakukan sebanyak 4 kali dengan lama waktu pemindaian masing-masing yaitu ± 2 menit.



Gambar 3-3 Proses 3D Scanning

3.3.4 Melakukan Pengolahan Data Hasil Pemindaian (3D Scan) dan Permodelan CAD

Pada pengolahan data hasil pemindaian dan permodelan CAD ini digunakan *software PowerSHAPE 2019* dan *Meshmixer* dengan metode *Reverse Engineering*. Berikut adalah kerangka umum permodelan CAD menggunakan metode RE dapat diuraikan sebagai berikut ini.

3.3.4.1 Pengambilan data dan pra-pemrosesan

Langkah ini adalah bagian awal dari setiap proses RE dan sering menyajikan implementasi langsung, kadang-kadang dapat dilakukan secara langsung oleh *software 3D Scan* yang digunakan. Penipisan jumlah titik yang diperoleh (*reduce mesh*), akuisisi titik awan (*point cloud*), dan proses perataan dilakukan untuk mengurangi kesalahan dan kompleksitas data yang diperoleh serta untuk mendapatkan bentuk *surface* yang dapat digunakan untuk segmentasi.

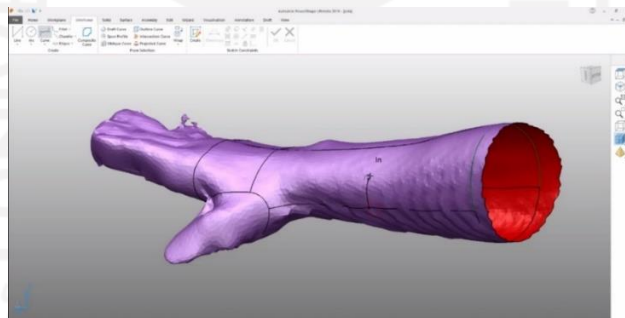
Hasil data pemindaian harus dicek dan di-*edit* atau diperbaiki terlebih dahulu seperti bentuk *surface* hasil pemindaian terdapat lubang, sobek, atau beberapa permukaan objek yang tidak terpindai. Terkadang terdapat beberapa benda sekitar objek yang juga ikut terpindai sehingga harus dilakukan penghapusan atau pemotongan pada objek sekitar tersebut. Pada kasus ini, pengecekan dan perbaikan hasil data pemindaian dapat dilakukan di dalam *software* yang telah disediakan oleh *3D Scan Sense 2*. Setelah dilakukan pengecekan dan perbaikan, file hasil data 3D diekspor terlebih dahulu berupa format *.OBJ* atau *.STL* agar dapat dilanjutkan

proses desain selanjutnya menggunakan *PowerSHAPE*. Proses pengambilan data dan pra-pemrosesan ini dilakukan dengan lama waktu ± 5 menit.

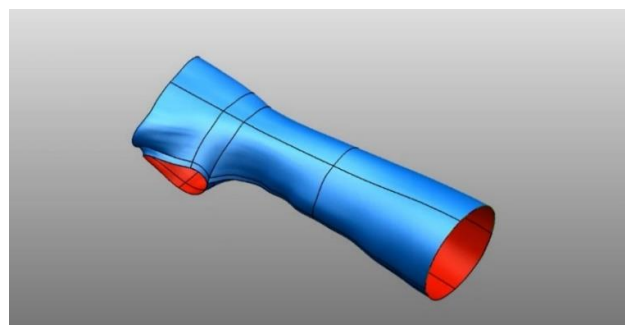
3.3.4.2 Permodelan CAD Menggunakan Software *PowerSHAPE* 2019 dan *Meshmixer*

1. Segmentasi menggunakan *PowerSHAPE*

Hasil file atau data hasil pemindaian yang berupa format *.OBJ* atau *.STL* diolah terlebih dahulu menggunakan metode segmentasi pada fitur *PowerSHAPE*. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mencapai struktur daerah yang sedekat mungkin dengan sekumpulan fitur geometris dan permukaan yang menyusun model yang akan direkonstruksi yang berupa *surface*. Pembuatan *surface* segmentasi dilakukan menggunakan *guide line* kemudian menggunakan fitur *smart surface* pada *PowerSHAPE*. Proses ini dilakukan berulang-ulang hingga mendapatkan hasil pola *surface* yang paling mendekati bentuk geometris dari tangan.



Gambar 3-4 Pembuatan *Guide Line*



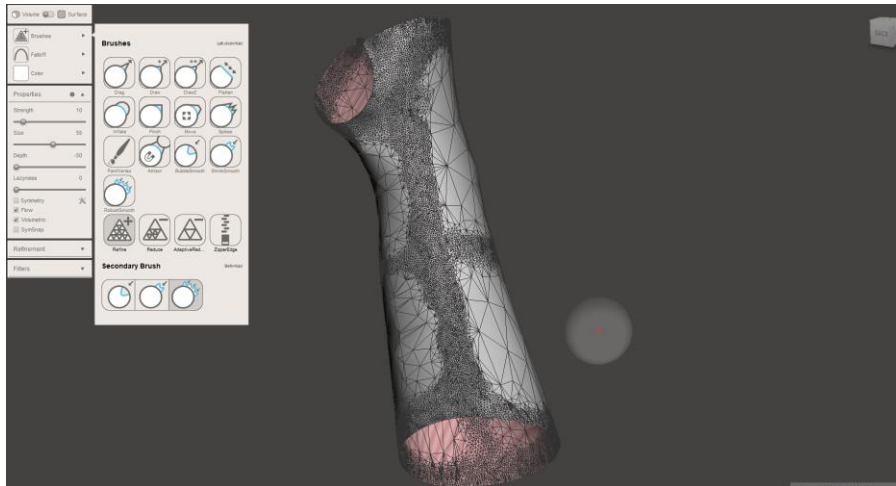
Gambar 3-5 Pembuatan *surface*

Setelah pembuatan *surface* maka terbentuklah pola orthosis tangan yang siap untuk diolah lebih lanjut seperti pembuatan lubang ventilasi, bagian sambungan, penebalan dan lain-lain. Permodelan lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan *software Meshmixer* untuk mendapatkan tebal dan pemberian lubang ventilasi. 3D model *surface* yang telah jadi di-*export* terlebih dahulu dengan format *.STL* kemudian di-*import* ke dalam *Meshmixer*. Penggunaan *Meshmixer* di dalam pembuatan orthosis sangat membantu dan mempermudah dalam permodelan hasil lubang ventilasi karena hasilnya akan terlihat lebih alami daripada dibuat secara manual.

2. Pembuatan lubang ventilasi dan penebalan

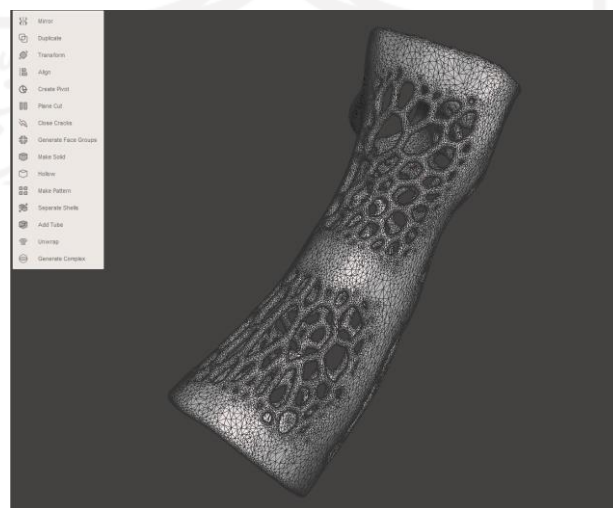
Untuk pembuatan lubang menggunakan *Meshmixer*, pertama-tama pola *surface* orthosis yang telah dibuat dibesarkan terlebih dahulu sesuai dengan tebal orthosis yang diinginkan. Pada kasus ini, tebal orthosis sebesar 6mm, maka pola *surface* dilakukan perbesaran menggunakan fitur *offset* sebesar 6mm. kemudian dilakukan pengecilan jumlah mesh menggunakan fitur *reduce mesh*, fitur ini berfungsi untuk mempermudah permodelan serta pembuatan lubang-lubang ventilasi. Pada kasus ini jumlah mesh dikecilkan menggunakan fitur *reduce mesh* sebesar 85% dari *mesh* sebelumnya.

Setelah dilakukan pengecilan banyaknya mesh menggunakan fitur *reduce mesh*, kemudian dilakukan pembuatan lubang-lubang ventilasi dan penebalan pada orthosis. Langkah yang dilakukan yaitu menggunakan fitur *sculpt* pada *meshmixer* yang digunakan untuk pemilihan atau penentuan bidang bagian mana yang akan dilubangi dan bagian mana yang tetap *solid*. Pada fitur *sculpt* terdapat 2 bagian yang digunakan dalam pembuatan lubang ventilasi ini yaitu pada fitur *refind* dan *reduce*. Fitur *Refind* digunakan untuk pemadatan/penambahan jumlah mesh pada bidang yang dipilih, sedangkan menu *reduce* digunakan untuk pengurangan jumlah *mesh* pada bidang yang dipilih. Desain lubang ventilasi yang akan dibuat berada pada muka bagian atas dan bawah kemudian di sisi kanan dan kiri berbentuk solid yang berguna untuk bagian sambungan *puzzle* pemisah.



Gambar 3-6 Proses *sculpting* menggunakan *Meshmixer*

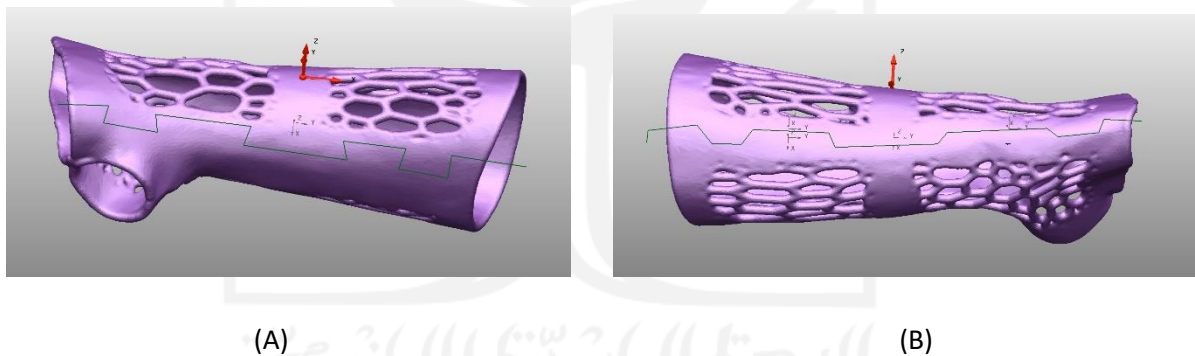
Kemudian menggunakan fitur *make pattern* untuk pembuatan lubang dan penebalan. Pattern yang dipilih yaitu double edge agar terbentuk desain *voronoi* yaitu desain pola yang terdiri dari garis-garis yang menghubungkan titik-titik dimana titik tersebut merupakan pusat lingkaran yang berpotongan dengan jaring segitiga model (*triangular mesh*) untuk membuat struktur seperti silinder dengan diameter yang sama sehingga menggantikan poligon asli. Jika proses pembuatan lubang ventilasi dan penebalan sudah selesai maka *file 3D* tersebut di-*ekspor* dalam *file .STL* unuk pembuatan sambungan *puzzle* menggunakan *PowerSHAPE* kembali.



Gambar 3-7 Proses pembuatan lubang dan penebalan menggunakan fitur *Pattern*

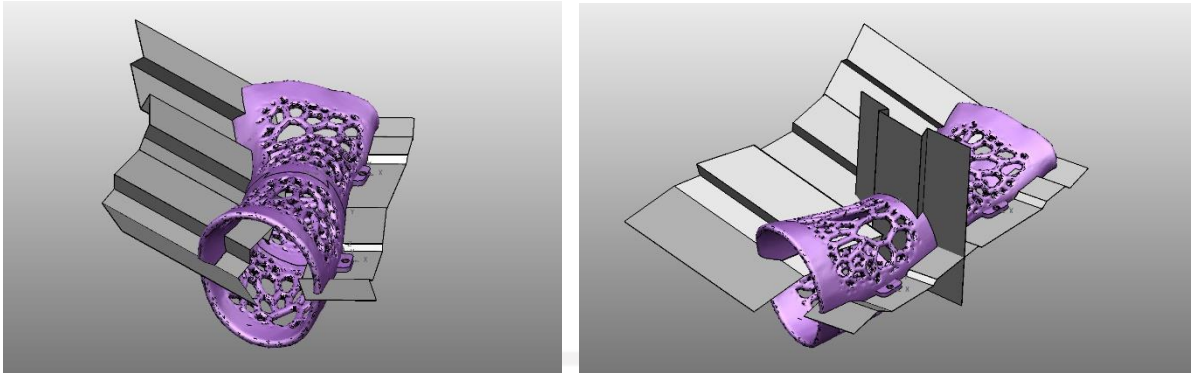
3. Pembuatan Sambungan

Tujuan dari pembuatan sambungan yaitu untuk memudahkan pemakaian maupun pembuatan orthosis tangan. Orthosis dibuat terpisah pada bagian bawah dan atas kemudian terdapat sambungan untuk menjaga posisi orthosis agar tetap diam serta dapat dengan mudah melepas maupun memasang. Serta terdapat juga sambungan pada bagian depan dan belakang agar dapat dilakukan proses *3D print* dengan ukuran alat *3D print* yang terbatas. Untuk pembuatannya pertama-tama *file .STL* yang telah dibuat lubang ventilasi dan penebalan menggunakan *Meshmixer* di-*import* terlebih dahulu di dalam *PowerSHAPE*. Kemudian pada sisi-sisi bagian kanan dan kiri serta bagian tengah dibuat garis pola sambungan yang berbentuk *puzzle* dilanjutkan membuat dudukan untuk lubang baut yang berfungsi sebagai penguat sambungan. Pembuatan pola garis menggunakan fitur *line* dengan bentuk pola *puzzle* membentuk sudut $45-70^\circ$ pada sebelah kiri kemudian sebelah kanan $100-120^\circ$ yang disusun secara memanjang.

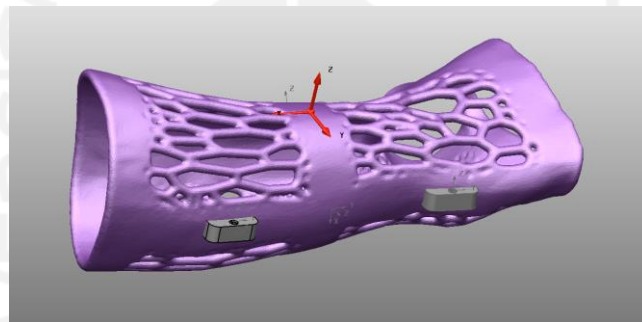


Gambar 3-8 Pembuatan garis puzzle pada bagian kiri (A) dan kanan (B)

Kemudian seluruh garis pola tersebut dibuat menjadi *surface* yang diberi ketebalan 0.3mm dengan arah sumbu *surface* yang berbeda. Arah *surface* sebelah kiri memotong 45° terhadap sumbu Z pada orthosis dari bagian kiri luar ke dalam, kemudian arah *surface* sebelah kanan memotong secara horizontal 180° pada orthosis dari bagian kanan luar ke dalam. Untuk pola selanjutnya dibuat *surface* yang memotong secara melintang sumbu orthosis dari bagian atas sampai bagian bawah. Kemudian untuk pembuatan baut dibuat di samping kanan bagian luar dari orthosis yang berjumlah 2 buah (bagian depan dan bagian belakang).



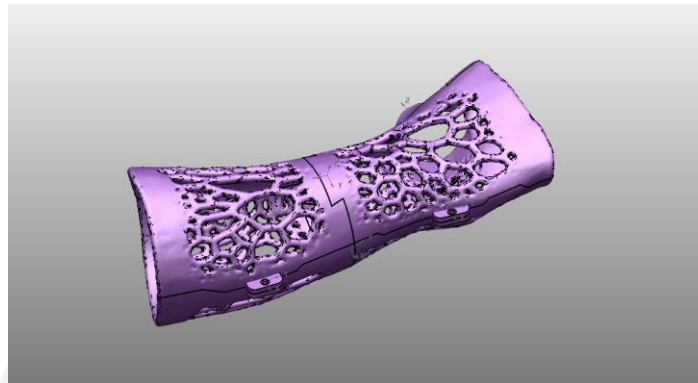
Gambar 3-9, 3-10 Pembuatan surface pada bagian kanan dan kiri, dilanjutkan pembuatan surface bagian atas



Gambar 3-11 Pembuatan dudukan baut

Kedua dudukan baut tersebut berguna untuk memperkuat sambungan orthosis pada bagian bawah dan atas yang diberi lubang sebesar 3mm yang menyambung kedua bagian menggunakan baut dengan diameter 3mm. Apabila bentuk *surface* untuk memotong dan dudukan baut sudah didesain dengan baik, maka langkah selanjutnya yaitu memotong bagian orthosis tersebut agar terpisah menjadi 4 bagian menggunakan fitur *subtract*. Fitur *subtract* digunakan dengan menentukan bagian mana yang berfungsi sebagai pemotong dan bagian mana yang akan dipotong. Untuk bagian yang berfungsi sebagai pemotong yaitu bagian ketiga *surface* yang telah dibuat sebelumnya kemudian untuk bagian yang akan dipotong adalah bagian bentuk *solid* dari orthosis itu sendiri. Jika sudah terbagi menjadi 4 bagian maka desain orthosis tangan sudah siap untuk dilakukan proses *3D Print*.

Oleh karena itu, ke-empat bagian tersebut di-*export* terlebih dahulu dalam file .STL secara terpisah.



Gambar 3-12 model yang sudah di-*subtract* kemudian siap untuk dilakukan pencetakan menggunakan *3D Print*

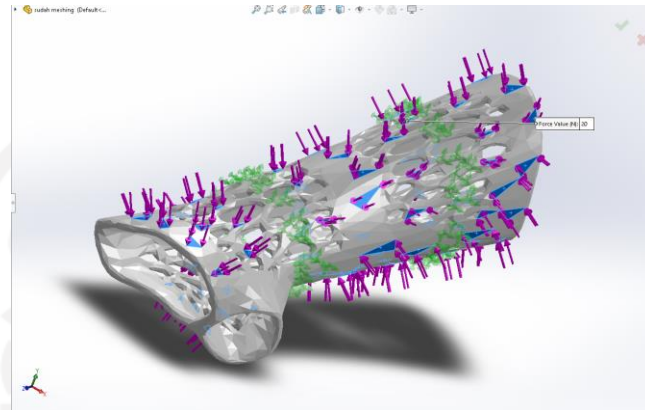
3.3.5 Analisis Kekuatan Material Menggunakan *Finite Element*

Analisis kekuatan material orthosis tangan ini dilakukan menggunakan stress analisis dengan menggunakan software CAD (*Solidwork*). Stress analisis pada orthosis ini berfungsi untuk mengetahui kekuatan dan pemilihan material serta pengaturan pencetakan yang akan digunakan menggunakan *3D Print* dari desain produk sebelum dilakukannya pencetakan serta sesudah dilakukannya pencetakan untuk dianalisis kekuatannya lebih lanjut. Pada kasus ini untuk analisis kekuatan pada orthosis tangan dilakukan menggunakan analisis statik *finite element* CAE pada *Solidwork* terlebih dahulu. *Properties* material PLA yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti gambar di bawah ini,

Tabel 3-1 *Properties* material PLA

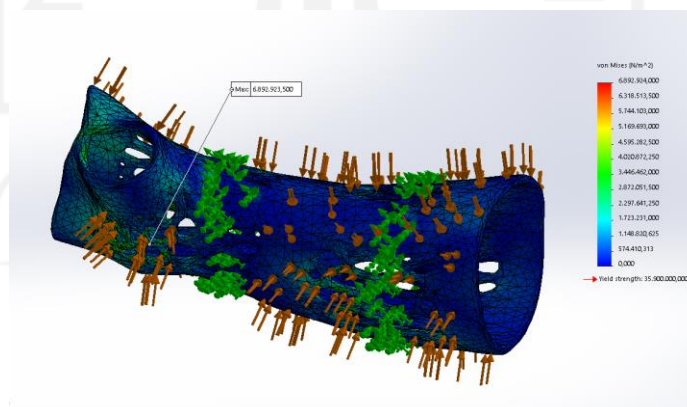
Property	Value	Units
Shear Modulus	318.9	N/mm ²
Mass Density	1300	kg/m ³
Tensile Strength	37	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	35.9	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	4.1e-05	/K
Thermal Conductivity	0.2256	W/(m·K)
Specific Heat	1386	J/(kg·K)

Untuk mencari tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada orthosis, maka posisi pembebanan diasumsikan sebagai berikut; tumpuan yang digunakan berada pada bagian-bagian tangan yang perlu ditompang kemudian diberi beban sebesar 20N yang disebar secara melingkar dan merata pada permukaan orthosis tangan seperti gambar 3-13.



Gambar 3-13 Posisi pembebanan dan tumpuan

Hasil analisis tegangan maksimal Von Mises yaitu 6.9 Mpa dimana tegangan tersebut masih dibawah batas kekuatan oleh material PLA sehingga bisa diterima dengan *yield strength* pada data *properties* PLA 35.9 Mpa.

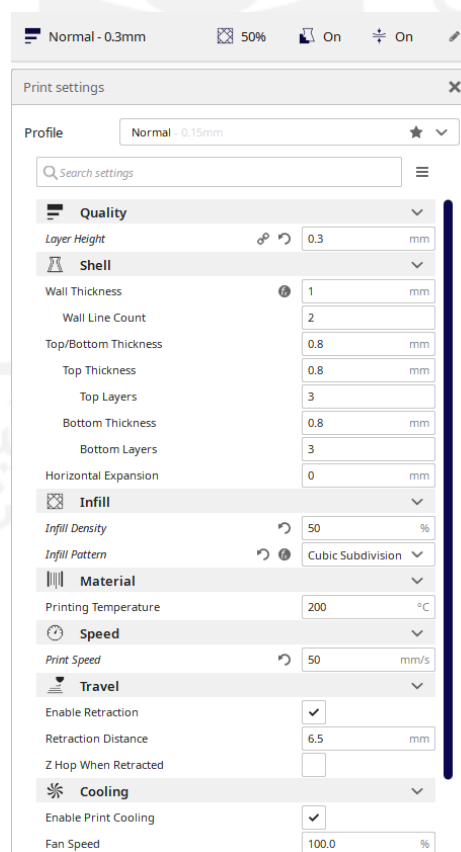


Gambar 3-14 Hasil tegangan maksimal Von Mises

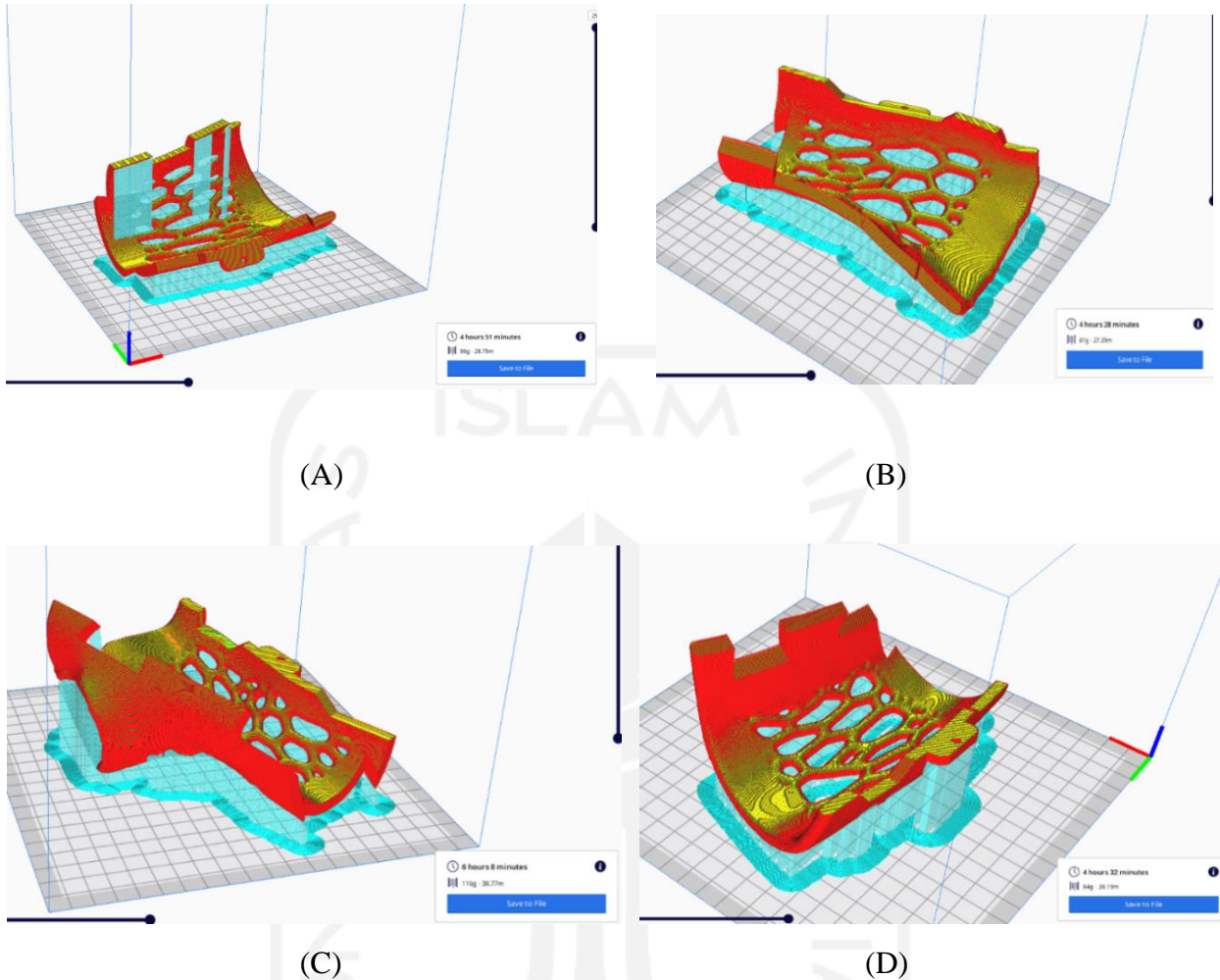
3.3.6 Mencetak Produk Menggunakan 3D Printer

Setelah dilakukan proses *modelling* menggunakan CAD, selanjutnya model 3D di-*export* terlebih dahulu dalam format .STL kemudian file tersebut di-*input* ke dalam mesin 3D *Print*. Mesin 3D *print* di-*setting* dan dikalibrasi terlebih dahulu seperti mengatur ketinggian dan temperatur *bed*, menentukan jenis dan ukuran filamen yang akan digunakan, kemudian mengatur strategi jalannya kerja *nozzle / toolpath setting* dengan parameter yang paling sesuai. Program mesin 3D *print* dieksekusi (*start*) setelah pen-*setting*-an selesai.

Mesin 3D *print* yang digunakan pada penelitian ini yaitu mesin *B01 Centralab* dengan material *filament* pla dengan ukuran diameter 1.75mm. Proses 3D *print* pada ke-empat bagian *orthosis* dilakukan secara bergantian satu persatu dengan pengaturan atau *setting* sebagai berikut dengan posisi horizontal / ditidurkan. Lama waktu proses pencetakan pada masing-masing bagian seperti pada gambar berikut.



Gambar 3-15 Pengaturan atau *setting* proses 3D *Print* tiap bagian



Gambar 3-16 Proses pencetakan beserta estimasi waktu menggunakan *3D Print* masing-masing bagian ; A) atas belakang (4 jam 51 menit), B) atas depan (4 jam 28 menit), C) bawah depan(6 jam 8 menit), D) bawah belakang (4 jam 32 menit).

Setelah proses 3d print, support yang masih menempel dihilangkan terlebih dahulu menggunakan gunting dengan hati-hati kemudian diampas terlebih dahulu agar halus.

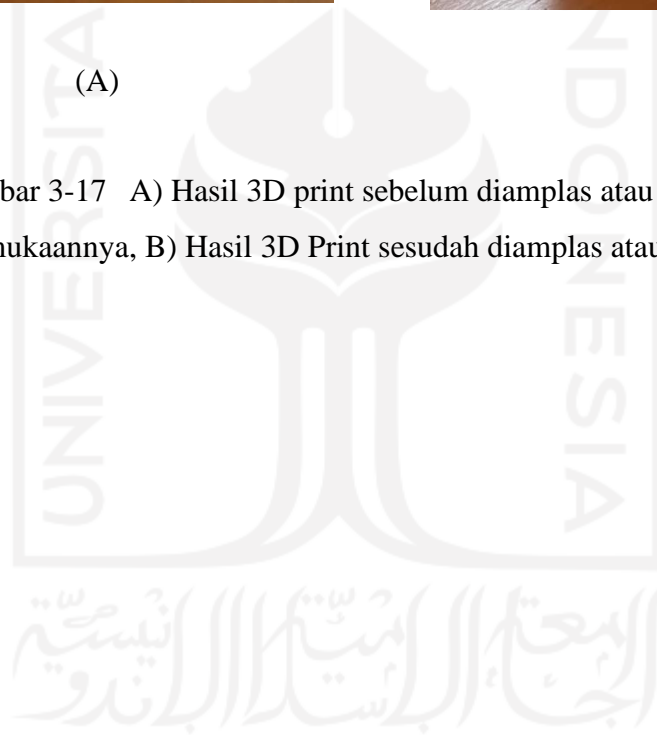


(A)



(B)

Gambar 3-17 A) Hasil 3D print sebelum diampelas atau dihaluskan permukaannya, B) Hasil 3D Print sesudah diampelas atau dihaluskan



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Hasil perancangan orthosis tangan yang sudah dibuat melalui beberapa tahap dengan menggunakan metode RE maupun AM dianalisis terlebih dahulu kendala-kendala dan fenomena-fenomena yang terjadi. Analisis desain dilakukan untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan kekuatan pada orthosis tangan oleh pasien, kemudian untuk mengetahui tingkat efektifitas dan efisiensi seluruh langkah-langkah pembuatan orthosis tangan ini dengan parameter waktu, kemudahan produksi, keakuratan hasil produk dengan bentuk geometri tangan secara detail, serta kekuatan material.

4.1.1 Kenyamanan dan Keakuratan bentuk

Dari bentuk hasil pembuatan orthosis menggunakan metode RE dan AM tersebut dianalisis dari segi kenyamanan dan keakuratan bentuk dengan cara orthosis tangan tersebut dicoba untuk digunakan oleh pasien. Pasien menggunakan orthosis tangan tersebut kemudian memberikan jawaban dari beberapa pertanyaan seperti; apakah adanya keluhan atau kesulitan dalam menggunakan atau melepas, adanya rasa gatal dan lain-lain. Selama pembuatan orthosis tangan ini, kehadiran pasien dibutuhkan ketika dilakukan pemindaian serta percobaan akhir saja. Tidak seperti pembuatan yang dilakukan secara tradisional yang cukup banyak membutuhkan kehadiran pasien dalam pembuatannya.

Ditinjau dari keakuratan bentuk, orthosis tangan ini mempunyai keakuratan yang baik sehingga pasien merasakan rasa nyaman saat digunakan. Kemudian dalam penggunaan ketika memasang dan melepas, baut pengunci dan sambungan dapat berfungsi dengan baik sehingga pasien juga dapat dengan mudah melakukannya, walaupun untuk pertama kali terlihat agak sedikit kesulitan karena membutuhkan penyesuaian terlebih dahulu. Kemudian untuk berat orthosis tangan ini lebih ringan daripada orthosis atau gips yang biasa dipasaran.



Gambar 4-1 Pasien mencoba menggunakan dan melepas orthosis

Namun pada bentuk orthosis masih terdapat beberapa bagian yang sedikit kasar karena hasil 3D Print yang kurang halus serta adanya bagian-bagian kecil *support* yang masih menempel di bagian sudut-sudutnya. Hal ini menyebabkan timbulnya rasa tidak nyaman ketika digunakan sehingga dibutuhkan tahap *finishing* agar lebih halus lagi.

4.1.2 Proses Desain dan Pemindaian

Proses desain orthosis tangan ini terdapat beberapa tahap yang akan dianalisis yaitu pada tahap pemindaian menggunakan *3D Scan*, pra-permodelan dan, permodelan CAD menggunakan *PowerSHAPE* maupun *Meshmixer*. Pada tahap-tahap tersebut diukur berapa lama waktu yang telah digunakan serta seberapa mudah pengerjaan atau proses dalam mendesain. Kemudian juga menganalisis adanya permasalahan-permasalahan dan fenomena-fenomena yang terjadi.

Pada proses pemindaian menggunakan *3D Scanner* terdapat adanya fenomena *lost tracking* sehingga terdapat data yang beberapa bagiannya berlubang. Hal-hal tersebut dapat terjadi karena teralu cepat pergerakan pemindaian yang menyebabkan beberapa bagian yang tidak terpindai dengan baik. Agar menghindari *Lost tracking* dan munculnya lubang-lubang pada hasil pemindaian maka pada saat memindai harus dilakukan secara perlahan dan stabil serta dilakukan secara merata. Waktu dilakukannya proses pemindaian masing-masing

selama ± 2 menit, kemudian dilakukan pra-pemrosesan untuk pembersihan dari hasil pemindaian ± 5 menit.

Pada proses permodelan menggunakan *PowerSHAPE* terdapat kesulitan pada bagian segmentasi *surface*. *Surface* yang dibuat harus sesuai dengan bidang tangan hasil pemindaian sehingga dalam segmentasi membutuhkan beberapa percobaan terlebih dahulu agar dapat menentukan *surface* hasil segmentasi mana yang paling sesuai dengan bentuk tangan pasien. Kemudian pada pembuatan *puzzle* sambungan, *PowerSHAPE* dapat dilakukan dengan cukup mudah karena pada saat membuat garis pola *puzzle* terdapat fitur *snapping* sehingga garis dapat menempel dengan baik pada permukaan *3d model*.

Penggunaan *software Meshmixer* pada permodelan orthosis ini sangat membantu dalam membuat lubang ventilasi agar terlihat lebih alami serta strukturnya tetap kuat walaupun bidang diberi lubang. Pada permodelan menggunakan *Meshmixer* juga cukup mudah dan tidak memakan banyak waktu karena adanya fitur *pattern*.

4.1.3 Proses 3D Print

Proses pencetakan menggunakan *3D print* pada pembuatan orthosis tangan ini adalah proses yang paling banyak memakan waktu. Pengaturan (*setting*) pada proses *3D print* sangat berpengaruh terhadap kekuatan, kualitas (bentuk detail produk). Semakin kuat dan semakin baik kualitas hasil *3D print* maka biasanya akan semakin lama waktu pencetakan, begitu juga sebaliknya, semakin rendah kekuatan dan kualitas maka waktu pencetakan akan semakin cepat. Pada kasus ini, kesulitan yang terjadi yaitu mencari pengaturan (*setting*) yang pas pada pencetakan agar orthosis dapat kuat, kualitas (bentuk detail produk), serta waktu pencetakan yang lebih singkat. Setelah ditinjau dan melakukan beberapa percobaan pengaturan akhirnya didapatkan solusi untuk permasalahan diatas yaitu memperbesar *Layer thickness* pada *slicer*, kemudian memilih bentuk *infill* serta kerapatan *infill* yang sesuai dengan bentuk bidang orthosis.

Lama waktu pencetakan ini juga bergantung pada performa mesin *3D print* yang digunakan, oleh karena itu terkadang lama waktu proses pencetakan yang dihasilkan oleh *slicer* berbeda atau lebih lama dibandingkan secara aktualnya.

Hasil lama waktu actual keseluruhan proses 3d print yang telah dilakukan yaitu ± 22 jam sedangkan hasil jumlah waktu keseluruhan pada *silcer* ± 19 jam. pada masing-masing bagian pada orthosis rata-rata mengalami perlambatan ± 2 jam.

4.2 Hasil Perbandingan Pembuatan Menggunakan Metode RE dan RP dengan Metode Tradisional

Berikut adalah hasil tabel perbandingan pembuatan orthosis tangan menggunakan metode RE dan RP dibandingkan dengan metode tradisional yang telah dilakukan pada penelitian ini ;

Tabel 4-1 perbandingan pembuatan orthosis tangan

proses	Kehadiran pasien
Proses Tradisional	
Analisis daerah yang terkena dampak	X
Persiapan pasien dan bahan-bahan yang digunakan	X
Membasahi dan penempatan perban	X
Membasahi dan aplikasi plester perban	X
Pemodelan dan pengaturan plester	X
Proses RE dan RP	
Analisis daerah yang terkena dampak	X
Pemindaian menggunakan 3D scan	X
Pemodelan desain CAD	
Mencetak 3D Print	

Dari hasil perbandingan proses pembuatan orthosis tangan di atas terlihat bahwa kekurangan dari pembuatan orthosis tangan menggunakan metode tradisional yaitu pembuatannya membutuhkan kehadiran pasien yang lebih banyak serta lebih melelahkan dan menyakitkan bagi pasien. Kemudian kelebihan pembuatan orthosis tangan menggunakan metode RE dan RP yaitu membutuhkan kehadiran pasien yang lebih sedikit, dengan begitu dapat meminimalisir rasa lelah dan sakit selama pembuatan.

Pada perbandingan harga bahan material, harga Gypsum untuk pembuatan gips dengan metode tradisional ini sekitar Rp400.000,- dalam 1 kali pembuatan. Sedangkan untuk pembuatan orthosis menggunakan metode RE dan RP ini dibutuhkan bahan *fillament* PLA dengan harga sekitar Rp250.000,- untuk 3 kali pembuatan.

Dari hasil perbandingan produk orthosis menggunakan metode RE dan RP dibandingkan dengan metode tradisional yang telah dibuat adalah sebagai berikut;

Tabel 4-2 perbandingan hasil produk orthosis tangan

Hasil Produk	
Metode Tradisional	Metode RE dan RP
<ul style="list-style-type: none"> • Mudah kotor dan sulit untuk dibersihkan • Tidak nyaman saat digunakan, karena ketika digunakan terdapat titik-titik tekan yang tidak sesuai • Cukup berat • Tidak boleh terkena air • Sulit untuk dipasang maupun dilepas, bahkan ada yang hanya 1 kali pakai • Panas ketika digunakan sehingga timbul keringat yang dapat menyebabkan bau, gatal-gatal kemudian menyebabkan iritasi • Estetika yang buruk • Pengembangan desain yang lebih sempit 	<ul style="list-style-type: none"> • Mudah dibersihkan • Nyaman digunakan, titik-titik tekan sesuai • Ringan • Boleh terkena air • Mudah dipasang maupun dilepas, dapat dipakai berulang kali • Tidak panas ketika digunakan • Estetika yang baik • Pengembangan desain yang lebih luas

4.3 Hasil Pengujian Material

Pada kasus ini, dibutuhkan penyesuaian proses stress analisis secara manual karena proses pencetakan 3D Print tersebut memiliki karakteristik yang berbeda terutama pada bentuk dan kerapatan isian (*infill*) di bagian solid pada orthosis serta perbedaan pencetakan yang dilakukan secara horizontal maupun vertikal. Oleh karena itu, dibutuhkan stress analisis secara manual yaitu menggunakan specimen ASTM D368 untuk mencari modulus elastisitas (*modulus young*) dan kekakuan (*stiffness*). Specimen ASTM D368 digunakan karena sesuai dengan data teknikal (*technical datasheet*) untuk dilakukannya pengujian material PLA yang telah ditetapkan oleh produsen *fillament* tersebut. Tujuan dari pengujian material ini yaitu digunakan untuk mengetahui apakah kekuatan dan sifat-sifat material pada orthosis tangan secara aktual sudah dapat memenuhi standar seperti modulus elastisitas (E), massa jenis, kepadatan material, dan kekakuan spesifik yang ditetapkan (gambar 4-5, 4-6, 4-7) serta dapat mengetahui adanya fenomena yang terjadi karena perbedaan cara pencetakan *3D Print* secara vertikal dan horizontal.

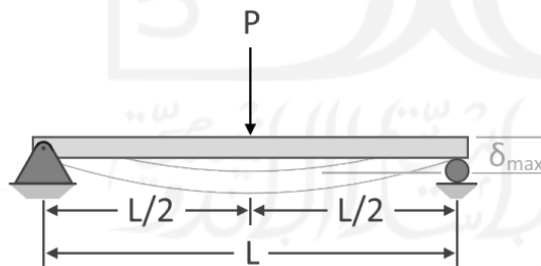
Specimen ASTM D368 dicetak menggunakan *3D Print* dengan pengaturan (*setting*) yang sama seperti pada pembuatan orthosis diatas kecuali pada kerapatan

infill dan posisi pencetakan yang berbeda-beda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kekuatan pada material yang dipengaruhi oleh pengaturan pencetakan tersebut. Specimen dicetak sebanyak 4 sampel dengan masing-masing kerapatan *infill*-nya yaitu 25%, 35%, 50%, dan 65% serta masing-masing juga dicetak secara vertikal dan horizontal seperti gambar berikut



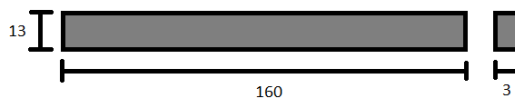
Gambar 4-2 Gambar pencetakan specimen secara vertikal dan horizontal

Setelah dilakukan pencetakan langkah selanjutnya yaitu mencari modulus elastisitas (E) pada masing-masing specimen dengan cara melakukan analisis pembebanan menggunakan bandul dengan beban 0.5 kg dimana posisi beban berada di tengah seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4-3 Gambar pembebanan specimen

Ukuran specimen ASTM D368 yang digunakan sebagai berikut ;



Gambar 4-4 Gambar dimensi specimen

Dari percobaan pada masing-masing specimen didapatkan data rata besar kelendutan maksimal ($\delta maks$) sebagai berikut ;

Tabel 4-3 Data hasil percobaan rata-rata besar kelendutan maksimal ($\delta maks$)
Tiap Specimen

infill print vertikal (mm)				Infill print horizontal (mm)			
25%	35%	50%	65%	25%	35%	50%	65%
5,85	5,11	4,95	5,24	4,13	4	4,16	4
5,94	5,21	5,06	5,19	4,15	4,03	4,13	4,04
5,94	5,19	5,01	5,1	4,17	4,08	4,18	4,03
5,81	5,1	4,98	5,18	4,19	4	4,08	4,03
5,89	5,15	5,00	5,18	4,16	4,03	4,14	4,03

Untuk menghitung modulus elastisitas (E) menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$E = \frac{WL^2}{48\delta I}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

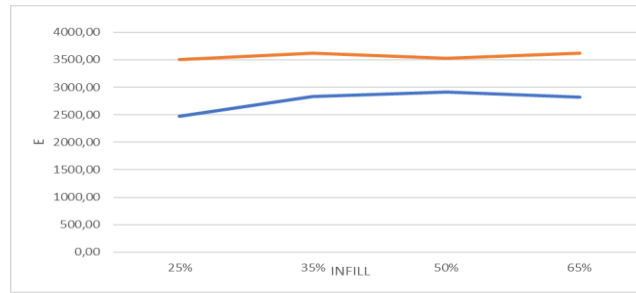
Dimana :

- W = Beban (Kg)
- L = Panjang specimen (mm)
- δ = kelendutan Maksimal (mm)
- I = Momen (Nmm)
- b = Lebar specimen (mm)
- d = Tebal specimen (mm)

Dari hasil perhitungan modulus elastisitas (E) pada tiap specimen seperti tabel di bawah ini ;

Tabel 4-4 Data hasil perhitungan modulus elastisitas (E) tiap specimen

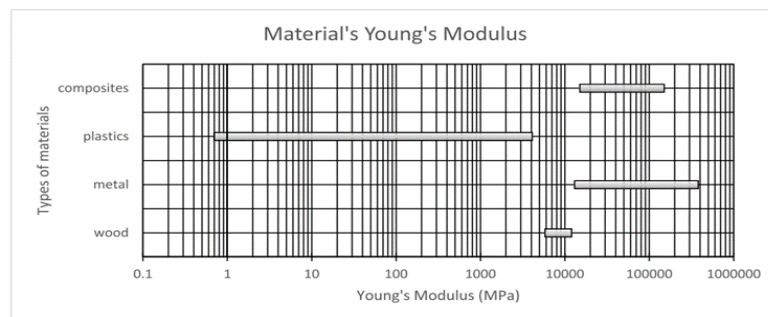
E infill print vertikal (Mpa)				E infill print horizontal (Mpa)			
25%	35%	50%	65%	25%	35%	50%	65%
2478,66	2831,03	2917,38	2817,36	3506,47	3621,82	3525,53	3624,07



Gambar 4-5 Data grafik perhitungan modulus elastisitas (E) tiap specimen

Dari hasil data grafik yang telah dibuat terlihat bahwa pencetakan specimen menggunakan *3d print* secara horizontal lebih kuat daripada pencetakan vertikal. pencetakan specimen secara horizontal lebih kuat karena semakin besar modulus elastisitas maka semakin sukar juga untuk merentangkan benda.

Kemudian modulus elastisitas (*young modulus*) yang digunakan pada specimen juga sudah memenuhi standar material yang digunakan pada orthosis tangan. Dari hasil masing-masing data modulus elastisitas yang telah didapat pada specimen di atas berada pada daerah standar plastik seperti yang ditunjukkan oleh grafik di bawah ini.

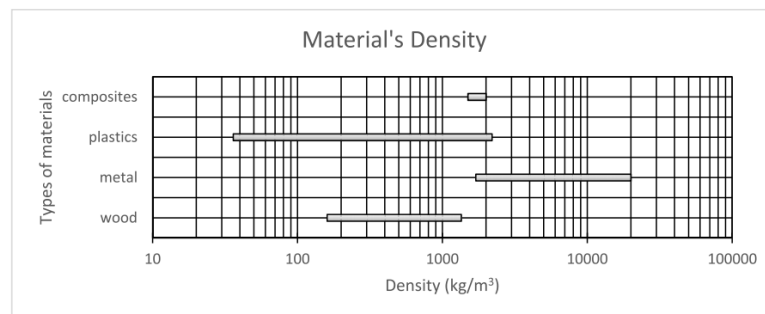


Gambar 4-6 *Young's Modulus* Material

Sumber : Farah Syazwani Shahara .et al (2019)

Massa jenis (*density*) pada orthosis tangan ini juga diperhatikan apakah sudah standar dengan massa jenis material orthosis yang sudah ditetapkan. Untuk volume orthosis tangan yang didapat yaitu 305.27 mm^3 , kemudian berat orthosis tangan yaitu 282 gram. Maka massa jenis yang didapat yaitu 923.76 kg/ m^3 . Dengan begitu massa jenis yang didapat sudah memenuhi standar material untuk

orthosis yang sudah ditetapkan pada daerah standar plastic seperti yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4-7 Kepadatan Material (*Material Density*)
 Sumber : Farah Shahara .et al (2019)

Kekakuan spesifik (*specific stiffness*) pada orthosis tangan ini juga ditinjau lebih lanjut apakah sudah memenuhi standar dengan kekakuan spesifik pada material orthosis yang sudah ditetapkan. Dari hasil pengujian specimen diataskekakuan spesifik dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

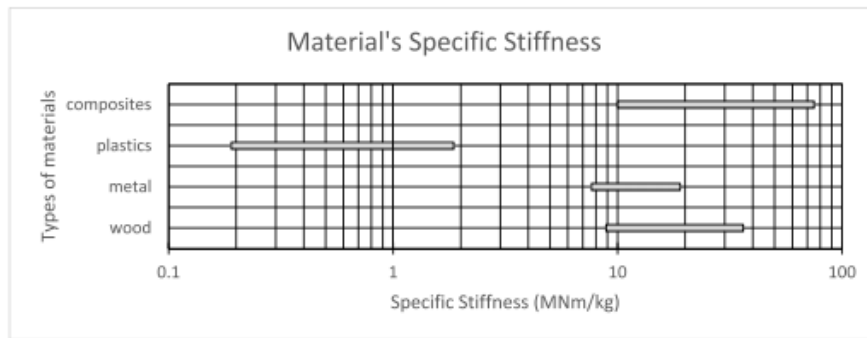
$$\text{Specific Stiffness} \left(\frac{\text{MNm}}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{Young's Modulus, } E \text{ (MPa)}}{\text{Density, } \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Dari hasil perhitungan Kekakuan spesifik (*specific stiffness*) pada tiap specimen seperti tabel di bawah ini ;

Tabel 4-5 Data hasil perhitungan Kekakuan spesifik (*specific stiffness*) tiap specimen

SS infill print vertikal (MNm/kg)				SS infill print horizontal (MNm/kg)			
25%	35%	50%	65%	25%	35%	50%	65%
2,68	3,06	3,16	3,05	3,80	3,92	3,82	3,92

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa kekakuan spesifik (*specific stiffness*) pada tiap specimen sudah memenuhi standard yang telah ditetapkan karena berada di dalam daerah standar plastic seperti yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4-8 Kekakuan Spesifik Material (*Material Specific Stiffness*)

Sumber : Farah Syazwani Shahara .et al (2019)



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ;

- Pembuatan Orthosis tangan menggunakan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping (3D print)* dapat digunakan. Hasil dari bentuk orthosis dari bentuk geometri tangan pasien sudah sesuai dengan kebutuhan pasien serta keuntungan atau kelebihan dari konsep desain orthosis juga sudah sesuai dengan yang direncanakan.
- Pembuatan orthosis tangan menggunakan metode *Reverse Engineering (3D Scan)* dan *Rapid Prototyping (3D print)* mempunyai lebih banyak kelebihan dari segi kenyamanan dan perawatan (lebih ringan, tidak panas, titik tekan sesuai, mudah dibersihkan, dll) kemudian dari segi pembuatan (membutuhkan sedikit kehadiran pasien, tidak menyakitkan dan lebih murah) daripada pembuatan orthosis tangan dengan metode tradisional.
- Orthosis tangan menggunakan *3d print* dengan material *fillament 3D Print PLA* pada penelitian ini dapat digunakan karena sudah memenuhi standar material orthosis seperti kepadatan material (*density*), Modulus elastisitas (*Young modulus*), serta kekakuan spesifik (*specific stiffness*) dengan hasil specimen dengan pengaturan infill dan posisi pencetakan yang berbeda.
- Hasil pencetakan ASTM D368 menggunakan *3D print* dari segi kekuatan yang dilihat dari modulus elastisitas (*Young modulus*), pencetakan dengan cara horizontal lebih kuat daripada pencetakan secara vertikal.

5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian yang dilakukan masih terdapat kekurangan dan dapat dimungkinkan untuk pengembangan lebih lanjut diantaranya :

- Proses pembuatan orthosis tangan ini dibutuhkan konsultasi dengan dokter lebih lanjut agar dapat berkembang lebih baik lagi.
- Penggunaan RE dan RP ini dapat lebih luas dikembangkan dan diterapkan di bidang medis.



DAFTAR PUSTAKA

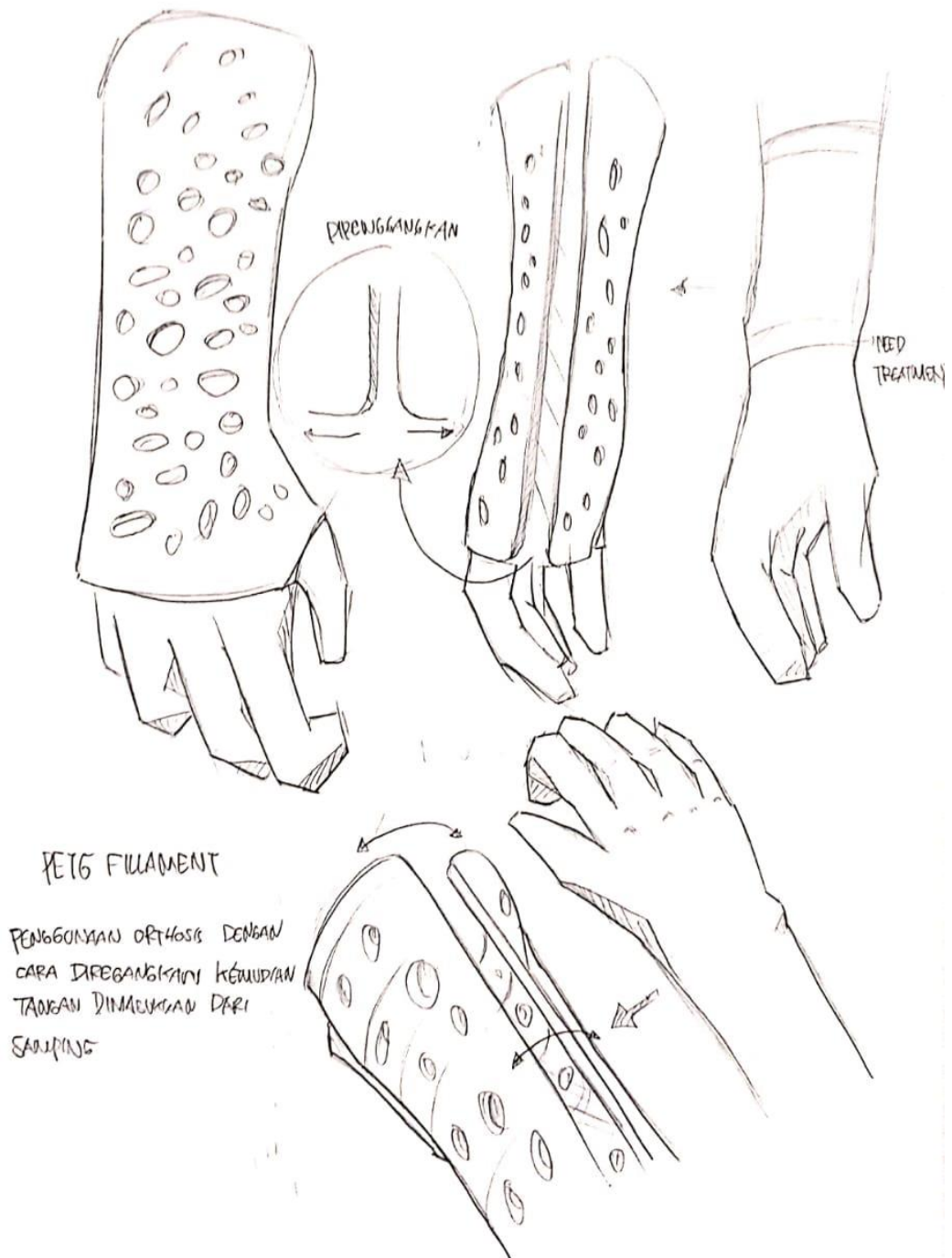
- A. Andringa, I. van de Port, and J.-W. Meijer. (2013). “*Long-term use of a static hand-wrist orthosis in chronic stroke patients: a pilot study,*” *Stroke Research and Treatment*, vol. 2013.
- Depkes RI tahun 2005. <http://www.depkes.go.id/resources/download/pusdatin/infodatin/infodatinkesja.pdf>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2014). *Buletin Jendela Data dan Informasi Kesehatan : Situasi Penyandang Disabilitas*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Gabriele Baronio, Paola Volonghi, and Alberto Signoroni. (2017). *Concept and Design of a 3D Printed Support to Assist Hand Scanning for the Realization of Customized Orthosis*. Mechanical and Industrial Engineering Department, University of Brescia, Via Branze 38, 25123 Brescia, Italy.
- Gabriele Baronio, Sami Harran, and Alberto Signoroni. (2016). *A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process*. *Applied Bionics and Biomechanics*, vol. 2016, Article ID 8347478, 7 pages, 2016.
- Dhakshyani, R., Nukman, Y., Abu Osman, A.N. and Vijay, C. (2011), “Preliminary report: rapid prototyping models for dysplastic hip surgery”, *Central European Journal of Medicine*, Vol. 6 No. 3, pp. 266-270.
- L. C. Hieu, J. V. Sloten, L.T. Hung et al. (2010). *Medical reverse engineering applications and methods*. in *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development (MECAHITECH '10)*.
- Douglas Lanman & Gabriel Taubin. (2009). *Build Your Own 3D Scanner: Optical Triangulation for Beginners*. SIGGRAPH Asia 2009 Course Notes.
- Niranjan Singh. (2012). *REVERSE ENGINEERING- A GENERAL REVIEW*. Niranjan et al *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*.

- Sadana, Kumara. (2018). *Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup*. Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknolog Informasi 2018.
- Cohen, A., Laviv, A., Berman, P., Nashef, R. and Abu, T.J. (2009), “*Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology*”, *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, Vol. 108 No. 5, pp. 661-666.
- Bertol, L.S., Junior, W.K., Silva, F.P. and Kopp, C.A. (2010), *Medical design: direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V*, *Materials and Design*, Vol. 31 No. 8, pp. 3982-3988.
- Starly, B., Fang, Z., Sun, W., Shokoufandeh, A. and Regli, W. (2005), *Three dimensional reconstruction for medical-CAD modeling*, *Computer Aided Design and Applications*, Vol. 2 No. 1-4, pp. 431-438..
- Francesco Buonamici, Monica Carfagni, Rocco Furferi, Lapo Governi, Alessandro Lapini & Yary Volpe. (2017). *Reverse engineering modeling methods and tools: a survey*. University of Florida.
- Coppard BM, Lohman H. (2008). *Introduction to splinting: a clinical reasoning and problem-solving approach*. ed 3, St Louis, Mosby.
- Farah Syazwani Shahara , Mohamed Thariq Hameed Sultana, Seng Hua Leed, Mohammad Jawaid , Ain Umaira Md Shaha, Syafiqah Nur Azrie Safrib, Praveena Nair Sivasankarane (2019). *A review on the orthotics and prosthetics and the potential of kenaf composites as alternative materials for ankle-foot orthosis*. Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, 43400, UPM Serdang, Selangor, Malaysia.
- Shawn McNamara, *PowerShape is the ideal modeling companion for Autodesk® PowerMill® and Autodesk® FeatureCAM® helping you create the geometry you need to get the best results from your CNC machine*. Chicago Mold Engineering.
- Ryan Schmidt, Karan Singh. (2010). *Meshmixer: an Interface for Rapid Mesh Composition*. University of Toronto, Kanada.

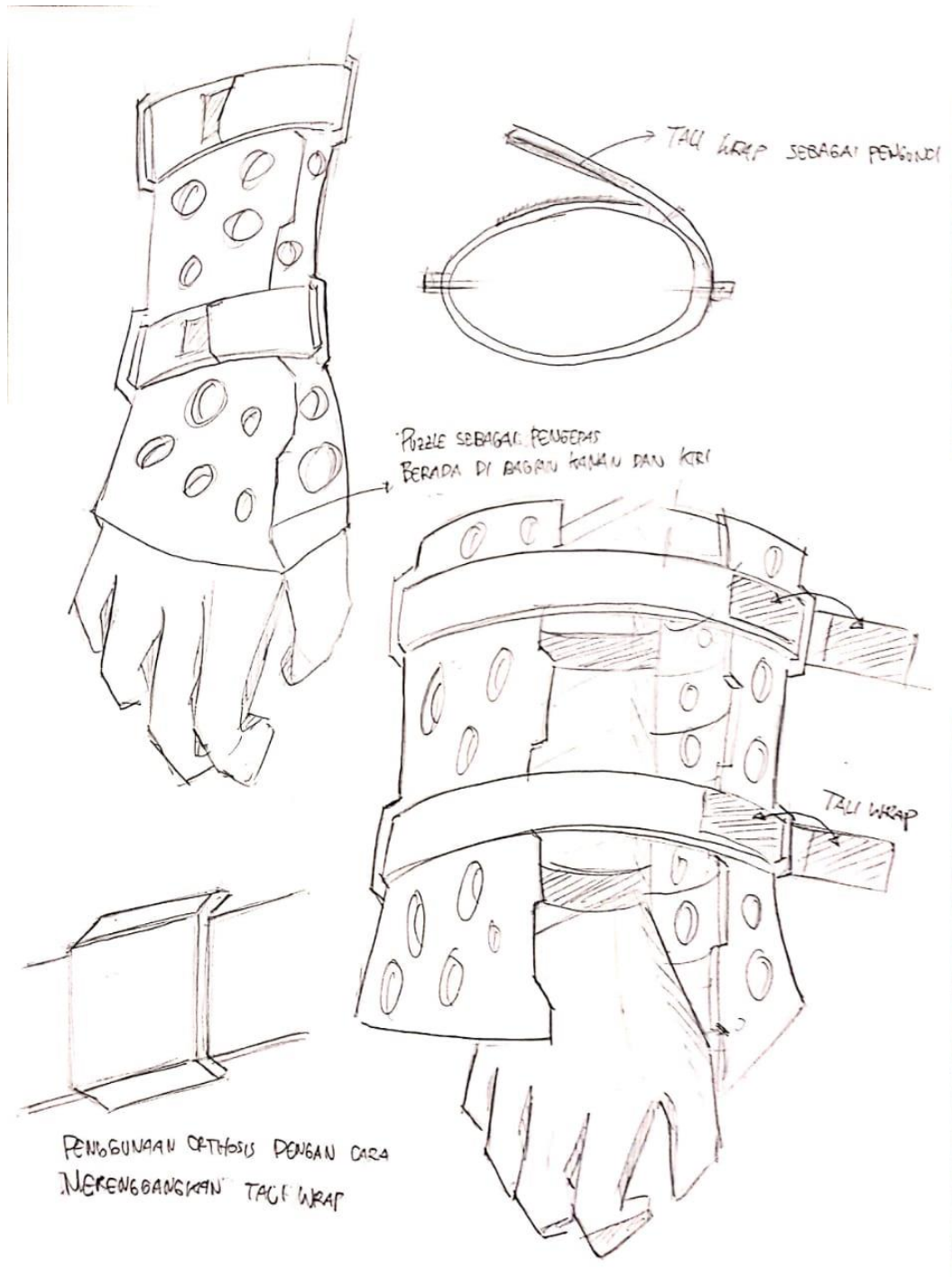
HASIL 3D SCAN



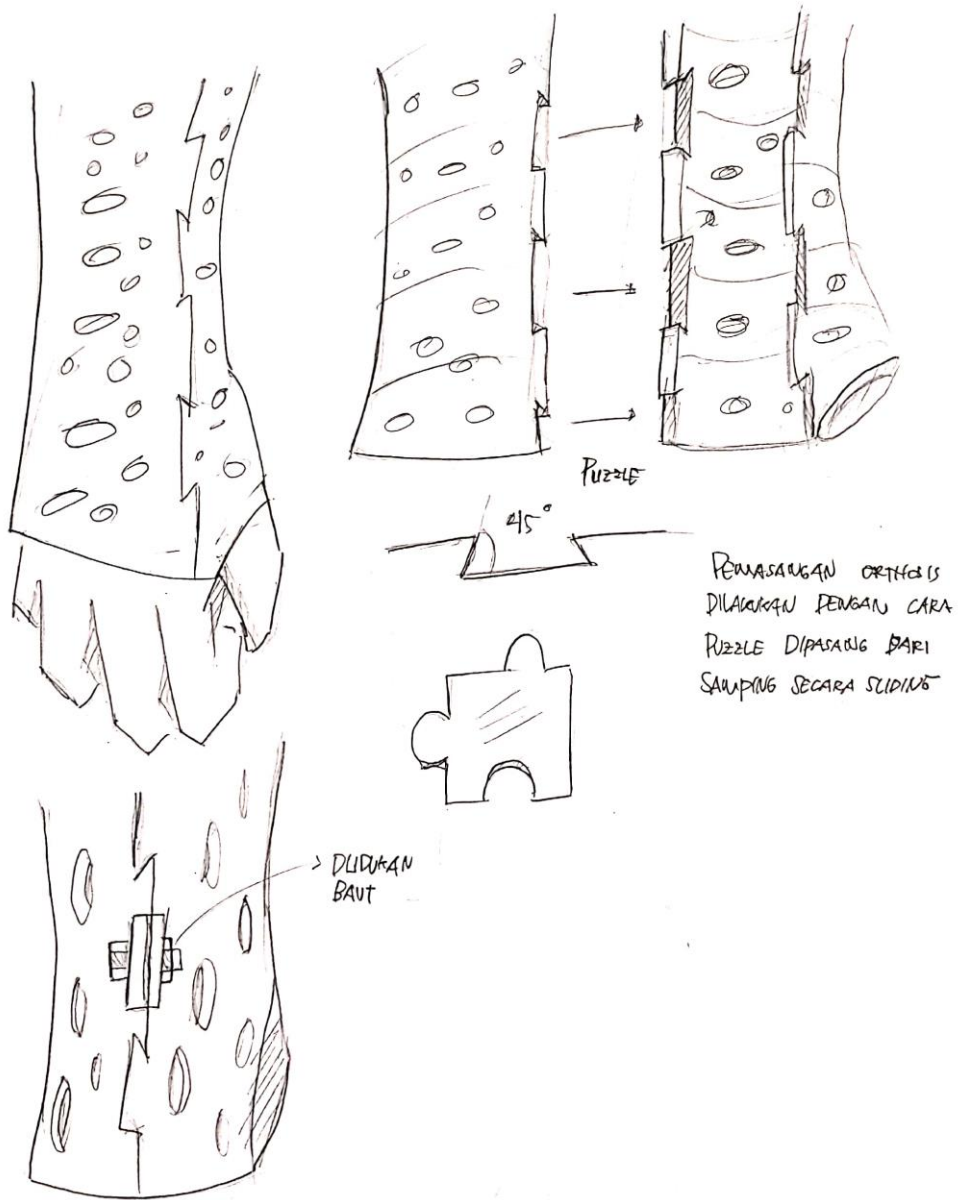
KONSEP DESAIN 1



KONSEP DESAIN 2



KONSEP DESAIN 3



KONSEP DESAIN 4

SISTEM PENGUNCI

