

Eksplorasi Desain dan Teknik Fabrikasi Digital untuk Elemen Desain Interior Berbasis Teknologi Manufaktur Aditif

Okta Putra Setio Ardianto*¹, Mahendra Wardhana², Thomas Ari Kristianto³, Anggra Ayu Rucitra⁴, Caesario Ari Budianto⁵

^{1,2,3,4,5} Departemen Desain Interior, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Penulis Korespondensi

*okta@interior.its.ac.id

ABSTRAK

Teknologi manufaktur aditif atau yang banyak dikenal sebagai teknologi printer 3D merupakan bagian dari revolusi industri 4.0 telah memberi dampak di berbagai bidang industri. Teknologi ini juga telah memberikan dampak di bidang konstruksi dengan merevolusi pendekatan merancang dan fabrikasi produk konstruksi termasuk pada desain interior. Kelebihan manufaktur aditif pada proses merancang dan fabrikasi digital desain interior adalah kemampuan menghasilkan bentuk yang unik, dapat dikustomisasi, relatif lebih cepat dan ekonomis dibandingkan dengan metode fabrikasi konvensional. Beberapa kelebihan termasuk membuat proses fabrikasi menjadi lebih efisien bahan dan dana sehingga dinilai sebagai proses yang lebih berkelanjutan. Tulisan ini berisi dokumentasi penelitian yang bertujuan untuk mengeksplorasi desain dan teknik fabrikasi elemen interior menggunakan teknologi manufaktur aditif dengan penggunaan mesin printer 3D berjenis *Fused Deposition Modeling* (FDM) tingkat pengguna akhir. Metode penelitian menggunakan teknik eksperimen dengan analisa kualitatif untuk mencapai tujuan penelitian. Eksplorasi desain dan fabrikasi elemen interior menggunakan studi kasus desain lampu estetika dikarenakan mempertimbangkan jenis peralatan yang digunakan pada penelitian. Serangkaian eksperimen yang mencakup proses merancang hingga fabrikasi purwarupa menghasilkan temuan berupa poin-poin terkait eksplorasi desain dan fabrikasi elemen desain interior meliputi faktor berpengaruh, anjuran dan batasan mengenai desain serta pengaturan teknis pada mesin printer 3D yang optimal pada kasus fabrikasi digital elemen interior berupa lampu estetika.

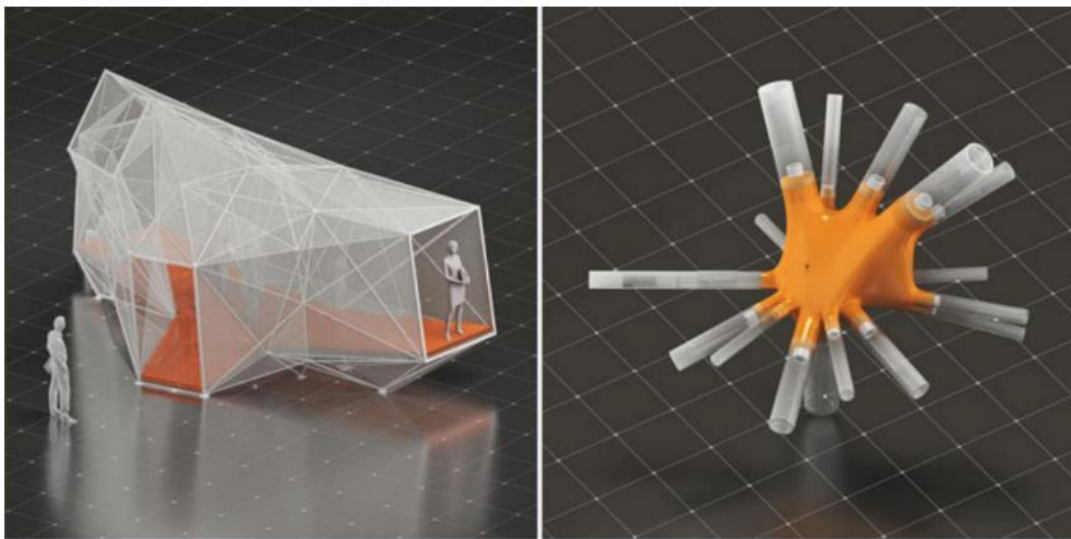
Kata kunci: *Design for Additive Manufacturing (DfAM), desain interior, fabrikasi digital, 3D printer, FDM, estetika*

PENDAHULUAN

Manufaktur aditif yang secara umum dikenal melalui teknologi printer 3D adalah teknologi fabrikasi berbantu komputer atau *Computer Aided Manufacture* (CAM) yang melakukan proses fabrikasi dengan cara bahan ditambahkan lapis demi lapis dan bukan menggunakan teknik cetakan atau pemotongan secara konvensional untuk pembuatan suatu komponen. Sebagai sebuah metode fabrikasi yang dinilai cukup handal dan memiliki sifat serbaguna digunakan sebagai metode produksi semi massal bahkan pada produksi massal untuk menghasilkan komponen yang digunakan secara fungsional (Parandoush & Lin, 2017). Hal tersebut dikarenakan sistem manufakturnya lebih tidak memerlukan banyak peralatan pendukung seperti pada sistem manufaktur konvensional (Dugbenoo, Arif, Wardle, & Kumar, 2018). Penggunaan teknologi ini pada masa kini menjadi tren dan diterapkan di banyak bidang industri, mulai dari industri pendidikan, medis dan bahkan di bidang industri yang memerlukan tingkat kehandalan tinggi seperti industri medis, militer dan otomotif. Selain pada bidang industri tersebut pada masa kini, teknologi printer 3D juga luas digunakan pada bidang konstruksi, mulai dari struktur, arsitektur hingga desain interior.

Aplikasi manufaktur aditif menggunakan printer 3D pada bidang konstruksi seperti arsitektur dan interior bangunan setidaknya memiliki kelebihan utama berupa penghematan dana pembuatan karena perangkat fabrikasi yang lebih sederhana atau *toolless*, sistem produksi

bespoke yaitu dapat dipesan dan dikustomisasi sesuai pesanan serta kebebasan variasi geometri atau bentuk komponen (Gambar1) yang lebih baik dari sistem manufaktur konvensional (Bañón & Raspall, 2021). Berdasarkan dari sifat kebaruan dari teknologi manufaktur aditif serta perkembangannya yang makin handal untuk digunakan pada bidang konstruksi termasuk desain interior, maka penelitian mengenai eksplorasi desain dan teknik fabrikasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengeksplorasi desain dan teknik fabrikasi elemen interior menggunakan teknologi manufaktur aditif dengan penggunaan mesin printer 3D berjenis *Fused Deposition Modeling* (FDM) untuk produksi elemen interior. Hal tersebut diharapkan memberikan sumbangsih pengetahuan mengenai strategi manufaktur aditif pada bidang desain interior sehingga penggunaan lebih kompleks dapat dikembangkan lebih lanjut di masa yang akan datang.



Gambar 1. Contoh Bentuk Geometri yang Kompleks Komponen Arsitektur Hasil Manufaktur Aditif

Sumber : Bañón (2021)

LITERATUR PENDUKUNG

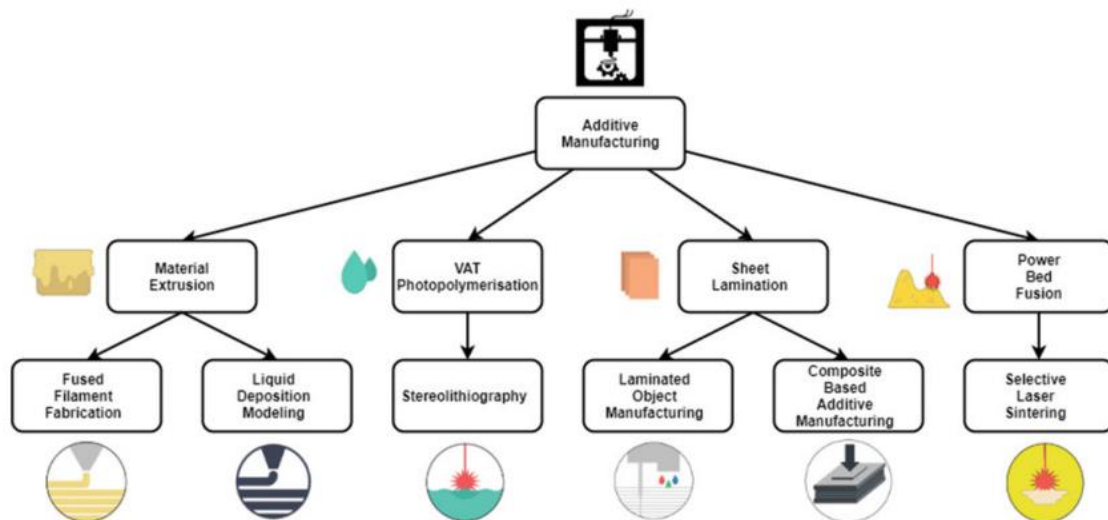
Sebagai bagian dari tahapan penelitian pada bagian ini dibahas mengenai literatur pendukung yang dikaji dan digunakan sebagai acuan dalam proses penelitian.

A. Manufaktur Aditif dan Jenis Printer 3D

Manufaktur aditif, juga dikenal sebagai pencetakan 3D, adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa komponen dibuat dengan menambahkan lapisan material secara berurutan dan berulang hingga seluruh komponen terbentuk. Material yang digunakan biasanya berasal dari plastik, logam, atau keramik. Teknologi ini digunakan untuk membuat purwarupa barang, benda produk, implan medis, dan bahkan organ manusia. Sejarah manufaktur aditif dapat ditelusuri kembali ke awal 1980-an ketika Charles Hull mengembangkan stereolitografi sebagai proses pembuatan objek 3D menggunakan perpaduan resin cair dan laser. Penemuan tersebut adalah yang pertama membuat objek 3D menggunakan model digital. Pada masa awal pencetakan 3D, teknologinya mahal dan terbatas pada aplikasi industri. Namun, pada masa kini biaya printer 3D telah jauh lebih ekonomis dan teknologinya menjadi lebih mudah diakses oleh pengguna tingkat akhir.

Saat ini ada berbagai teknologi pencetakan 3D yang tersedia termasuk stereolitografi, sintering laser selektif, Fused Deposition Modeling (FDM) dan lain sebagainya, jenis teknologi printer 3D dapat diperhatikan pada bagan di gambar 2 (Dhanunjayarao, et al., 2020). Secara umum printer 3D memiliki kelebihan (Bañón & Raspall, 2021) sebagai berikut :

- Lebih sedikit perangkat pendukung, bagian-bagiannya dari komponen langsung diproduksi tanpa perlu peralatan tambahan yang unik dan mahal yang membutuhkan investasi modal besar dan waktu semisal cetakan komponen.
- Sistem manufaktur *bespoke* yaitu diproduksi sesuai variasi pesanan dan opsi kustomisasi.
- Kebebasan geometrik, yang artinya printer 3D dapat membuat bentukan kompleks dengan batasan yang melebihi metode manufaktur lain.



Gambar 2. Bagan Jenis Teknologi Printer 3D

Sumber : Dhanunjayarao (2020)

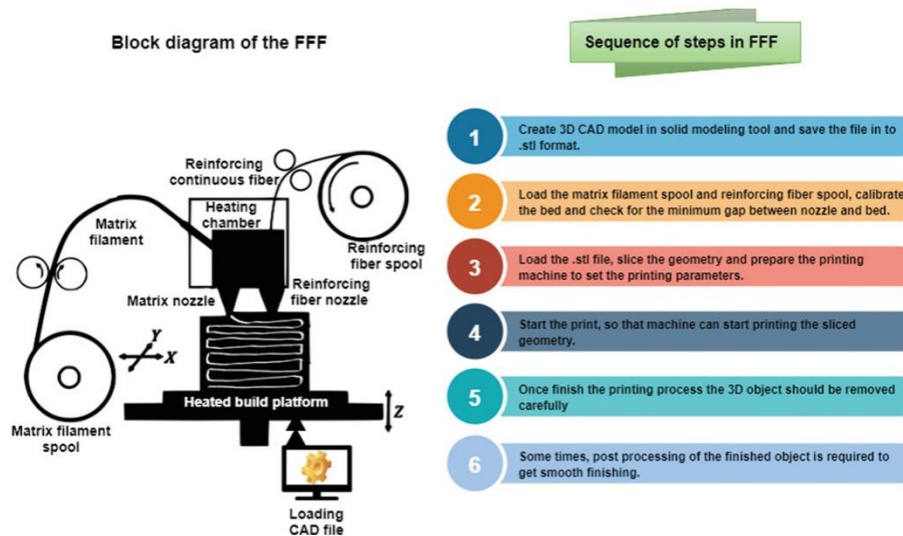
Selain memiliki kelebihan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya printer 3D memiliki beberapa kekurangan yaitu :

- Waktu pencetakan relatif lebih lambat daripada metode lain semisal *injection molding*. Hal ini tentu bervariasi bergantung pada geometri 3D dan teknis mesin yang digunakan.
- Peralatan manufaktur aditif dan bahan habis pakai relatif lebih mahal mahal daripada teknologi yang sudah lama ada.
- Keterbatasan ukuran, dikarenakan kecepatan yang lambat dan biaya yang lebih tinggi berdampak pada kurang optimalnya volume cetak maksimum.
- Proses pencetakan dilakukan lapis demi lapis, yang pada desain tertentu membutuhkan struktur penyangga. Bagian penyangga tersebut memberikan waktu lebih lama pada saat pencetakan serta proses pasca produksi atau *finishing*

B. Sistem Fused Deposition Modeling (FDM)

Printer 3D dengan sistem Fused Deposition Modeling (FDM) yang dikembangkan pada tahun 1989 oleh Scott Crump adalah proses manufaktur aditif yang paling banyak digunakan dan paling ekonomis secara harga dengan penggunaan bahan cetak berbagai jenis termoplastik dalam bentuk filamen. Bahan baku yang disuplai ke ekstruder dilelehkan dan lelehan dikeluarkan lapis demi lapis sesuai porsinya. Komponen ekstruder bergerak mengikuti instruksi yang dihasilkan oleh perangkat lunak dengan menggunakan aktuator yang dikendalikan komputer. Tingkat detail yang terbatas dikarenakan ukuran komponen nozzle, ketelitian cetakan, dan karakteristik mekanis yang relatif kurang handal menghasilkan karakterk cetakan

yaitu setiap lapisan terhubung secara langsung dengan lapisan di lainnya menjadikan kelemahan signifikan dari teknologi FDM. Akan tetapi, bahan termoplastik baru berkualitas tinggi yang dapat digunakan pada sistem FDM seperti PEI, PAEK, dan PPSU menjadi semakin populer untuk aplikasi produksi industri. Kelebihannya menjadikan alternatif yang cocok, bersifat lebih ekonomis, dan ringan bobotnya untuk beberapa logam seperti baja tahan karat atau aluminium (Bañón & Raspall, 2021). Pada penelitian ini sistem yang digunakan untuk eksperimen adalah sistem FDM dengan pertimbangan aspek kehandalan dan ketersediaan peralatan printer 3D. Prosedur pencetakan dengan sistem FDM dapat diperhatikan pada diagram pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Penjelasan Prosedur Pencetakan 3D Sistem FDM
Sumber : Dhanunjayarao (2020)

C. Alur Kerja 3d Printing

Pada bagian ini dijelaskan alur kerja proses manufaktur aditif dari literatur terkait sebagai acuan proses eksperimen. Secara umum alur kerja (Bañón & Raspall, 2021) adalah sebagai berikut :

- **Fase Desain**

Pada fase desain melalui proses berbantu komputer, printer 3D memberikan peningkatan proses desain digital dengan kelebihan pada kebebasan desain, tingkat kontrol manufaktur dan pola perakitan komponen. Perancang memiliki lebih banyak fleksibilitas geometris sehingga dapat bereksperimen dengan lebih sedikit batasan dalam eksplorasi bentuk. Selain itu, perancang dapat memanfaatkan kemampuan desain komputasi dan menyusun konstruksi rumit yang tidak akan mungkin terjadi tanpa pembuatan aditif untuk pendekatan ekspresi estetika atau optimasi performa. Penerapan pemodelan parametrik juga memberikan variasi ekspresi desain baru yang menjadi ciri khas desain secara digital. Penggunaan teknologi manufaktur aditif pada industri konstruksi dibatasi oleh serangkaian batasan baru yang bisa saja belum dapat digunakan pada produksi dalam skalan penuh (Fratello , 2022). Memperhatikan hal tersebut maka eksplorasi desain menggunakan teknologi ini menuntut kreativitas perancang dengan memadukan kemampuan pemodelan 3D dan mengoptimasi potensi pencetakan 3D dalam upaya menekan keterbatasan teknologinya.

- **Fase Manufaktur**

Industri konstruksi saat ini memiliki lebih banyak fleksibilitas dan opsi dengan adanya fabrikasi komponen bangunan menggunakan manufaktur aditif. Poin penting pada fase

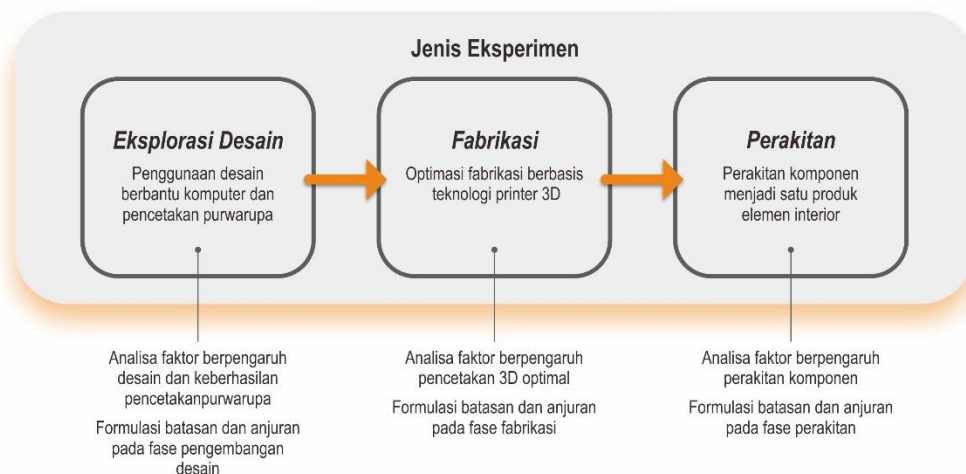
fabrikasi adalah kemampuan untuk mengalokasikan bahan secara tepat dengan penyesuaian pada karakter model 3D yang dihasilkan pada fase desain. Apabila hal tersebut dapat dioptimasi, proses fabrikasi menggunakan printer 3D dapat menekan risiko terhadap cacat produksi karena faktor kelalaian manusia. Selain itu, metode *file-to-factory* ini juga meminimalkan resiko kesalahan interpretasi pekerja pada bagian fabrikasi terhadap dokumen desain pada saat proses fabrikasi komponen konstruksi.

- **Fase Perakitan**

Kompleksitas kreasi desain dapat meningkat secara signifikan dengan desain digital dan manufaktur aditif, namun pengiriman dan perakitan di lokasi konstruksi menjadi tantangan karena jumlah komponen yang berbeda berpotensi akan meningkat. Akibatnya, manajemen konstruksi perlu dirancang dengan tepat. Selain itu kebutuhan gambar detail desain dapat berubah sebagai hasil perubahan alur kerja manufaktur aditif. Selanjutnya, pada fase perakitan pola pikir yang digunakan adalah seperti pada konstruksi pre-fabrikasi. Suatu bangunan dan ruang dibagi menjadi sistem yang jelas seperti struktur penahan beban, selongsong, sistem mekanis hingga ornamen. Beberapa komponen dapat dicetak secara bersamaan menjadi sebuah sistem, hal ini harus dengan cermat direncanakan secara komputasional pada fase desain sebelum memulai pekerjaan perakitan sehingga perancang benar-benar harus berpikir lebih holistik

METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian berkaitan dengan desain lebih khusus desain interior setidaknya memiliki dua arus utama yaitu evaluasi desain dan pengembangan teori (Haddad, 2013). Penelitian ini secara umum menggunakan metode evaluasi desain dengan strategi eksperimen dan analisis kualitatif. Evaluasi desain dilakukan pada hasil eksperimen pengembangan desain dan pencetakan purwarupa. Aspek yang digunakan sebagai acuan eksperimen dan dianalisa adalah fase desain, fabrikasi dan perakitan. Keseluruhan tahapan penelitian dapat diperhatikan pada gambar 4.



Gambar 4. Tahapan dan Strategi Penelitian

Sumber : Produksi Pribadi (2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN



Pada bagian ini dijelaskan mengenai dokumentasi kegiatan eksperimen dan analisa temuan penelitian yang telah dilakukan. Penjelasan dibagi sesuai dengan klasterisasi metode penelitian


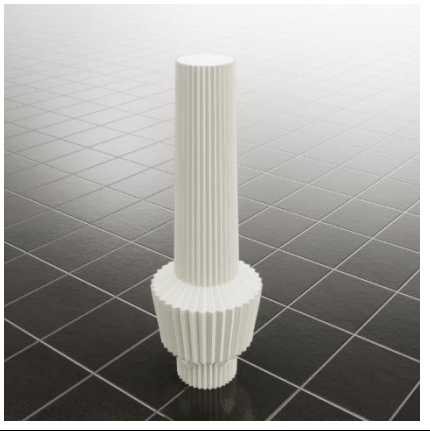

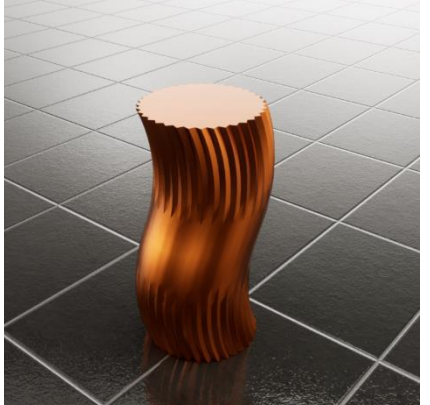
yakni hasil dan pembahasan mengenai aspek desain geometri 3D, teknis fabrikasi dan perakitan. Pada kegiatan eksperimen penelitian menggunakan studi kasus pembuatan elemen interior lampu meja sedangkan analisa hasil eksperimen membahas faktor berpengaruh, anjuran dan batasan hasil eksperimen.

A. Aspek Desain Geometri 3D

Tahap desain geometri 3D dilakukan eksplorasi rancangan lampu meja dengan metode desain berbantu komputer atau *Computer Aided Design (CAD)* menggunakan piranti lunak pemodelan geometri 3D. Pendekatan eksplorasi desain menggunakan pendekatan desain yang terkait dengan tren desain berpendukung manufaktur aditif. Secara umum tren desain berpendukung manufaktur aditif memiliki dua pendekatan yaitu pendekatan ekspresif dan performa (Bañón & Raspall, 2021). Pendekatan ekspresif terdiri dari dua tren yaitu penggunaan desain parametrik dan ornamental, sedangkan pendekatan performa terdiri dari dua tren yaitu optimasi struktur dan keberlanjutan. Pada eksperimen ini menggunakan pendekatan ekspresif dengan penggunaan desain parametrik. Komponen lampu meja yang didesain meliputi *lamp shade* dan *body*. Selain penggunaan teknik parametrik, pembuatan desain juga mengambil inspirasi aspek lokal yaitu dengan mentransformasi lampu semprong. Hasil desain eksplorasi desain dapat diperhatikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Eksplorasi Desain Geometri 3D dan Konfigurasi Komponen Lampu Meja

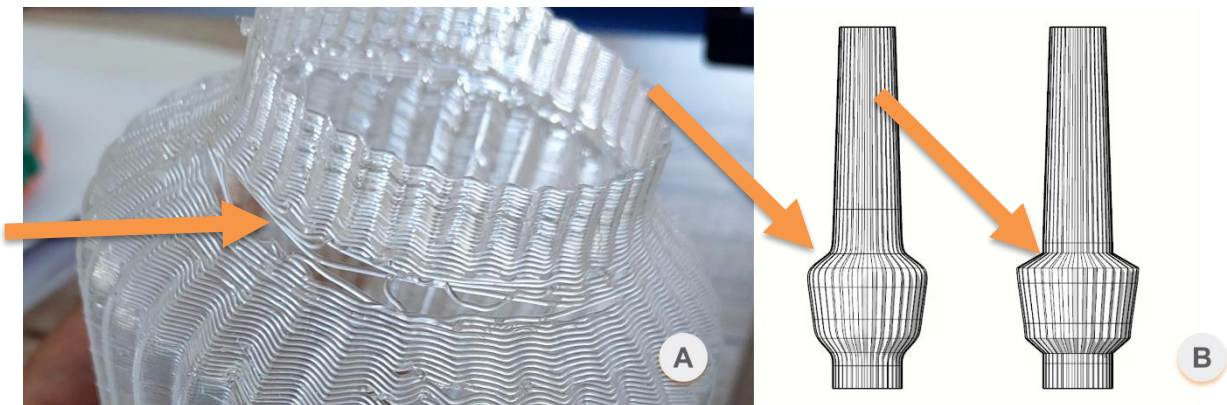
No	Visual Geometri	Dimensi (mm)	Jenis Komponen	Keberhasilan Pencetakan Purwarupa
1.		89 x 89 x 289,8	Lamp Shade	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan selesai 100% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping rapat dan rapi
2.		105 x 105 x 350	Lamp Shade	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan dihentikan pada capaian 50% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping tidak berhasil menutup

3.		<p>97.5 x 97.5 x 255</p>	<p><i>Lamp Shade</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan selesai 100% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping rapat dan rapi
4.		<p>105 x 105 x 350</p>	<p><i>Lamp Shade</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan dihentikan pada capaian 20% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping tidak berhasil menutup
5.		<p>70 x 70 x 185</p>	<p>Bodi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan selesai 100% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping rapat dan rapi
6.		<p>70 x 70 x 150</p>	<p>Bodi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pencetakan selesai 100% • Hasil cetak bagian dasar rapat dan rapi • Hasil cetak bagian dinding samping rapat dan rapi

Sumber : Hasil Eksperimen (2022)

Keseluruhan geometri 3D yang dihasilkan dari eksplorasi desain dilakukan pencetakan 3D dengan hasil yang bervariasi tingkat keberhasilan maupun kerapian yang secara umum dapat diperhatikan pada tabel 1. Seluruh hasil pencetakan dianalisa dan menghasilkan beberapa poin simpulan sebagai berikut :

- Desain yang mempunyai bentukan terlalu melayang di sisi horizontal dengan bentang yang terlalu besar dari sumbu Z berpotensi gagal dalam proses pencetakan seperti pada desain nomer 2 dan 4 (Gambar 5B). Kondisi tersebut diperparah apabila bentukan melayang memiliki karakter sudut yang runcing seperti pada desain 4. Kegagalan pencetakan adalah lapisan cetak tidak menempel sempurna (Gambar 5A).
- Desain parametrik dengan bentukan pola geometris pada sumbu Z membuat hasil cetak lebih rapi karena titik perpindahan *nozzle* vertikal dapat tersamarkan pada bagian sudut paling tajam. Sebaliknya apabila desain memiliki bentukan polos pada sisi sumbu Z akan mengekspos bagian titik perpindahan *nozzle* vertikal sehingga memberikan kesan tidak rapi pada bagian dinding samping komponen.
- Bentukan parametrik pada dinding samping komponen dengan garis lengkung memiliki tingkat kerapian hasil cetak lebih tinggi dibandingkan dengan garis patah-patah. Hal ini perlu menjadi pertimbangan untuk merancang geometri 3D selanjutnya.



Gambar 5. Visual Hasil Pencetakan Gagal dengan Karakter Lapisan Saling Tidak Menyatu (A) dan Posisi Gagal Cetak terhadap Desain 3D.

Sumber : Dokumentasi Hasil Eksperimen (2022)

B. Aspek Teknis Fabrikasi

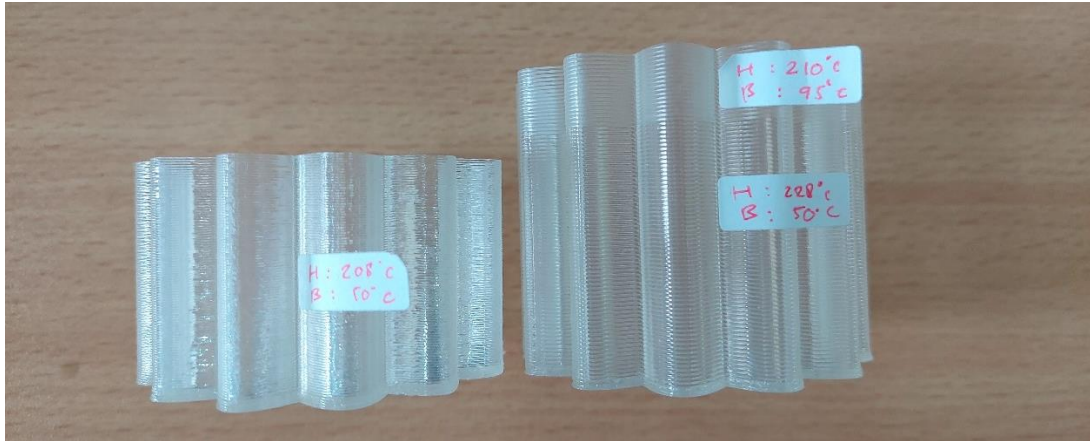
Pada bagian ini dijelaskan mengenai hasil eksperimen purwarupa dan analisa pada mengenai faktor berpengaruh, anjuran dan batasan pada fase fabrikasi. Langkah pencetakan 3D pada fase desain dipilih bentukan yang berhasil dan pada fase ini dicetak ulang dengan beberapa pengaturan berbeda. Pengaturan meliputi pengaturan fisik pada printer 3D dan pada piranti lunak *slicer* yaitu piranti lunak yang berfungsi sebagai penerjemah desain ke dalam bahasa perintah fabrikasi untuk printer 3D. Pengaturan didasarkan pada faktor berpengaruh yaitu ukuran dan suhu *nozzle*, pengaturan ukuran *layer height*, *wall setting*, *bottom setting*, serta *fillament flow*. Poin-poin pengaturan tersebut dibuat variasi kombinasi pengaturannya dengan didasarkan pada temuan ketika pencetakan purwarupa di fase desain. Material yang digunakan pada fase ini adalah plastik *Polylactic Acid* (PLA) berjenis transparan dan padat / tak tembus cahaya. Penggunaan material transparan pada komponen *lamp shade* sedangkan material padat pada komponen bodi lampu meja. Hasil dari variasi pengaturan dilakukan pengamatan dan analisa (Tabel 2).

Tabel 2. Observasi Hasil Eksperimen Kombinasi Pengaturan

No	Kombinasi Pengaturan	Pengaturan	Material	Jenis Komponen	Deskripsi Hasil
1.	1	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,4 mm dan suhu 210 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,32 mm <i>fillament flow</i> 100%, <i>wall thickness</i> 0,94 mm dan <i>bottom & top layer</i> 0,6 mm.	PLA transparan	Lamp Shade No 3	Waktu pencetakan 3 jam, hasil antar lapisan rapi, karakter lapisan terlihat pada jarak dekat dan komponen terasa ringan ketika dipegang.
2.	2	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,4 mm dan suhu 210 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,32 mm <i>fillament flow</i> 100%, <i>wall thickness</i> 1,15 mm dan <i>bottom & top layer</i> 0,9 mm.	PLA transparan	Lamp Shade No 3	Waktu pencetakan 3 jam 22 menit, hasil antar lapisan rapi, karakter lapisan terlihat pada jarak dekat dan komponen terasa lebih kokoh ketika dipegang.
3.	3	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,8 mm dan suhu 210 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,45 mm <i>fillament flow</i> 100%, <i>wall thickness</i> 1,15 mm dan <i>bottom & top layer</i> 0,9 mm.	PLA transparan	Lamp Shade No 3	Waktu pencetakan 2 jam 23 menit, hasil antar lapisan rapi terdapat <i>bubble</i> pada lapisan, karakter lapisan terlihat pada jarak sedang dan komponen terasa lebih kokoh ketika dipegang.
4.	4	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,8 mm dan suhu 215 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,45 mm <i>fillament flow</i> 120%, <i>wall thickness</i> 1,25 mm dan <i>bottom & top layer</i> 1,2 mm.	PLA transparan	Lamp Shade No 3	Waktu pencetakan 3 jam 23 menit, hasil antar lapisan sangat rapi tidak terdapat <i>bubble</i> pada lapisan, karakter lapisan terlihat pada jarak sedang dan komponen terasa sangat kokoh ketika dipegang.
5.	5	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,8 mm dan suhu 228 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,45 mm <i>fillament flow</i> 120%, <i>wall thickness</i> 1,15 mm dan <i>bottom & top layer</i> 0,9 mm.	PLA transparan	Lamp Shade No 3	Waktu pencetakan 2 jam 23 menit, hasil antar lapisan sangat rapi tidak terdapat <i>bubble</i> pada lapisan, karakter lapisan terlihat pada jarak sedang, tampilan permukaan terlihat lebih mengkilat dan transparan serta komponen terasa kokoh ketika dipegang.
6.	1	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,4 mm dan suhu 210 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,32 mm <i>fillament flow</i> 100%, <i>wall thickness</i> 0,94 mm dan <i>bottom & top layer</i> 0,6 mm.	PLA non transparan	Bodi No 5	Waktu pencetakan 1 jam 15 menit, hasil antar lapisan rapi, karakter lapisan terlihat pada jarak dekat dan komponen terasa ringan ketika dipegang.
7.	4	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,8 mm dan suhu 215 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,45 mm <i>fillament flow</i> 120%, <i>wall thickness</i> 1,25 mm dan <i>bottom & top layer</i> 1,2 mm.	PLA non transparan	Bodi No 5	Waktu pencetakan 1 jam 8 menit, hasil antar lapisan sangat rapi pada lapisan, karakter lapisan terlihat pada jarak sedang dan komponen terasa sangat kokoh ketika dipegang.
8.	5	Penggunaan <i>nozzle</i> ukuran 0,8 mm dan suhu 228 ⁰ C, <i>layer height</i> 0,45 mm	PLA non transparan	Bodi No 5	Waktu pencetakan 55 menit, hasil antar lapisan sangat rapi, karakter lapisan terlihat pada

	<u>fillament flow 120%, wall thickness 1,15 mm dan bottom & top layer 0,9 mm.</u>		jarak sedang dan komponen terasa kokoh ketika dipegang.
--	---	--	---

Sumber : Hasil Eksperimen (2022)



Gambar 6. Perbedaan Hasil pada Eksperimen Material Transparan
Sumber : Dokumentasi Eksperimen (2022)

Memperhatikan hasil dari eksperimen yang didokumentasikan di atas, menggunakan analisa kualitatif maka ditemukan beberapa poin analisa sebagai berikut :

- Pengaturan fisik berupa penggantian ukuran *nozzle* (diketahui dari perbandingan kombinasi pengaturan 2 dan 3) berpengaruh pada waktu pencetakan, untuk komponen dengan dimensi cetak tipikal lampu meja lebih optimal menggunakan ukuran besar yaitu 0,8 mm daripada 0,4 mm.
- Pengaturan tebal dinding dan bagian dasar komponen yang dilakukan pada *licer* berpengaruh terhadap waktu pencetakan *nozzle* (diketahui dari perbandingan kombinasi pengaturan 1 hingga 4). Tebal pengaturan bagian dasar komponen berpengaruh lebih signifikan dibanding tebal dinding. Pengaturan pada poin ini disarankan untuk dioptimasi sesuai dengan desain geometri 3D untuk mendapatkan waktu pencetakan yang ideal.
- Pada pencetakan menggunakan *nozzle* besar, pengaturan *flow* bahan memberi dampak pada kualitas lapisan. Diketahui dari perbandingan kombinasi pengaturan 4 dan 5 bahwa semakin besar nilai *flow* bahan akan mendapatkan hasil lebih rapi pada dinding komponen tanpa mempengaruhi waktu pencetakan.
- Pada material transparan terdapat perbedaan kualitas hasil pencetakan dipengaruhi oleh perbedaan suhu *nozzle*. Pada suhu yang lebih rendah menimbulkan *bubble* pada lapisan hasil cetak serta karakter transparan yang lebih kurang mengkilat, sedangkan suhu yang lebih tinggi menghasilkan lapisan tanpa *bubble* dan karakter transparan lebih optimal serta lebih mengkilat. Dalam konteks ini suhu *nozzle* terbaik hasil dari eksperimen adalah menggunakan nilai antara 210⁰ C hingga 228⁰ C disesuaikan dengan merk dari bahan yang digunakan. Visual perbandingan hasil dapat diperhatikan pada gambar 6.

C. Aspek Perakitan

Pada bagian ini dijelaskan mengenai eskperimen perakitan dengan mengkombinasikan komponen-komponen yang telah berhasil dihasilkan dari prose fabrikasi yang telah dioptimasi. Komponen tercetak yang digunakan adalah komponen dengan desain no 1, 3, 5 dan 6 yang

terdiri dari dua komponen lamp shade dan dua komponen bodi lampu meja. Hasil kombinasi keempat komponen dapat diperhatikan pada gambar 7. Dari proses eksperimen kombinasi komponen tersebut didapat poin analisa sebagai berikut :

- Kesenambungan bentuk pada bagian pertemuan dua komponen perlu diselaraskan sehingga memberikan kesan menyatu secara teknis dan keselarasan estetika produk yang dihasilkan.
- Bagian pertemuan dua komponen disarankan diberikan fitur sistem sambungan yang saling mengunci. Sistem tersebut diperkuat dengan pemberian perekat untuk memperkuat sambungan. Perlakuan itu dinilai lebih optimal daripada hanya menggunakan perekat. Dalam eksperimen perakitan ini jenis perekat yang digunakan adalah perekat Cyanoacrylate Adhesive atau yang lebih dikenal luas sebagai lem super.
- Fenomena elephant foot yaitu tidak homogen besaran yang terjadi di bagian bawah komponen perlu diantisipasi pada saat perakitan agar sambungan terlihat lebih rapi. Langkah antisipasi bisa dengan pendekatan penyesuaian desain atau perapian secara fisik pada komponen yang telah dihasilkan



Gambar 7. Hasil Eksperimen Kombinasi Komponen yang Telah Dioptimasi Secara Desain dan Fabrikasi
Sumber : Dokumentasi Eksperimen (2022)

KESIMPULAN

Memperhatikan poin yang didapat dari literatur pendukung dan hasil penelitian melalui eksperimen maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada proses menghasilkan elemen interior menggunakan teknologi manufaktur aditif, tahapan desain, fabrikasi dan perakitan saling mempengaruhi dalam menentukan hasil akhir dan optimasi proses produksi. Perancang dituntut mengetahui aspek di keseluruhan tahap agar tercipta proses desain dan fabrikasi yang optimal.
- Jenis bahan baku menjadi salah satu faktor berpengaruh pada proses manufaktur aditif. Hal tersebut seperti diketahui juga terjadi pada manufaktur konvensional sehingga jenis bahan baku menjadi faktor yang sama-sama berpengaruh di kedua sistem manufaktur

- Manufaktur aditif membuka peluang menghasilkan desain dan proses fabrikasi digital dengan karakter yang dapat dieksplorasi lebih jauh untuk produksi elemen interior khususnya lampu meja. Eksplorasi aspek desain lain yang belum dilakukan pada penelitian ini seperti warna dan perpaduan material terbuka untuk dieksplorasi dan diteliti di masa mendatang

DAFTAR PUSTAKA

- Bañón, C., & Raspall, F. (2021). *3D Printing Architecture: Workflows, Applications, and Trends*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Dhanunjayaram, B., Naidu, N., Kumar, R., Phaneendra, Y., Sateesh, B., Olajide, J., & Sadik, E. (2020). *3D Printing of Fiber Reinforced Polymer Nanocomposites: Additive Manufacturing*. In *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications* (pp. 1-9).
- Dugbenoo, E., Arif, M., Wardle, B., & Kumar, S. (2018). Enhanced bonding via additive manufacturing-enabled surface tailoring of 3d printed continuous-fiber composites. *Advanced Engineering Materials*, 1-9.
- Fratello, V. (2022). *Emerging Objects*. In J. Anderson, & S. Weinthal, *Digital Fabrication in* (p. 143). New York: Routledge.
- Haddad, R. (2013). *Research and Methodology for Interior Designers*. *Social and Behavioral Sciences*, (pp. 283-291).
- Parandoush, P., & Lin, D. (2017). A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. *Composite Structures*, 36-53.