

KOMPARASI MATERIAL FILAMEN 3D *PRINTER* TERHADAP HASIL KUALITAS CETAK PRODUK MAINAN *EGGBALL SUBMARINE*

Muhammad Yanuardi Irfani¹, Ali Ramadhan^{2*}

¹ Program Studi Desain Produk, Universitas Mercu Buana, Jl. Meruya Selatan No. 1 Kembangan; Jakarta Barat 11650, DKI Jakarta

² Program Studi Desain Produk, Universitas Mercu Buana, Jl. Meruya Selatan No. 1 Kembangan; Jakarta Barat 11650, DKI Jakarta

E-mail: 41921010002@student.mercubuana.ac.id¹, ali.ramadhan@mercubuana.ac.id²

ABSTRACT

Material refers to the base substance used in the production of a product or object, which possesses specific physical properties that influence the characteristics of the product. Filament, on the other hand, is a form of material in the form of a long thread that can be melted and shaped into three-dimensional objects. The result refers to the final outcome of a process or activity, depicting what has been achieved or obtained. Print quality pertains to the level of accuracy, clarity, and perfection of the 3D printing process, which is influenced by the parameters and characteristics of the material, machine, and design. Toys are objects or products designed and created for entertainment, play, or educational purposes, commonly used by children. The qualitative comparative method is employed in this research to obtain specific information on the comparison of the effects of using various types of filament materials in Eggball Submarine toys

Keywords: *Comparison, filament, material, toy*

INTISARI

Material adalah bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan suatu produk atau objek, yang memiliki sifat fisik tertentu yang mempengaruhi karakteristik suatu produk. Filamen adalah bentuk material berupa benang panjang yang dapat dilelehkan dan dicetak menjadi objek tiga dimensi. Hasil adalah produk akhir dari suatu proses atau kegiatan, yang menggambarkan apa yang telah dicapai atau diperoleh. Kualitas cetak mengacu pada tingkat keakuratan, kejelasan, dan kesempurnaan hasil cetakan pada proses cetak 3D, yang dipengaruhi oleh parameter dan karakteristik material, mesin, dan desain cetakan. Mainan adalah objek atau produk yang dirancang dan dibuat untuk tujuan hiburan, kegiatan bermain, atau pendidikan yang umumnya digunakan oleh anak-anak. Metode kualitatif komparatif digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh informasi yang spesifik tentang perbandingan pengaruh penggunaan berbagai jenis material filamen pada mainan *Eggball Submarine*

Kata Kunci : Filamen, mainan, material, komparasi

PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Kualitas cetak produk mengacu pada tingkat keakuratan, ketepatan, dan detail dari objek yang dihasilkan melalui proses pencetakan (Seprianto & Wilza, 2017). Hal ini mencakup aspek visual seperti kejelasan, ketepatan geometri, kehalusan permukaan, serta integritas struktur objek yang dicetak. Kualitas cetak yang tinggi menunjukkan bahwa objek dicetak dengan presisi dan tingkat detail yang tinggi sesuai dengan desain yang diinginkan (Maulana, 2021).

Produk merupakan hasil dari proses perancangan hingga pembuatan atau pengolahan yang memiliki nilai kegunaan bagi konsumen (Prabowo & Zoelangga, 2019). Produk pada umumnya memiliki wujud berupa barang fisik, seperti perangkat elektronik, pakaian, kendaraan, peralatan dapur dan sebagainya. Produk dapat memiliki berbagai atribut, seperti kualitas, fitur, desain, harga, merek, serta layanan pendukung. Tujuan utama produk adalah untuk memenuhi kebutuhan atau keinginan konsumen dan memberikan nilai tambah. Produk yang sukses adalah yang dapat memenuhi ekspektasi konsumen, memberikan solusi yang efektif, dan memberikan kepuasan serta nilai yang diharapkan (Wibowo, 2019).

Mainan adalah produk atau alat yang dirancang khusus untuk tujuan hiburan, pembelajaran, maupun media pengembangan anak-anak (Fitriyanti & Hasballah, 2023). Mainan seringkali dirancang dengan warna, bentuk, dan fitur yang disesuaikan dengan kebutuhan anak-anak untuk bermain dan mengembangkan keterampilan motorik, kognitif, sosial, dan emosional mereka (Anggraini, 2018). Produk mainan umumnya berupa seperti boneka, balon, mobil miniatur, atau permainan papan, maupun benda yang dapat digunakan dalam permainan imajinatif, seperti kostum atau mainan berbasis media elektronik.

Eggball Submarine merupakan produk mainan yang dihasilkan melalui proses cetak 3 dimensi. “*Eggball*” diambil dari Bahasa Inggris yakni bola berbentuk telur atau permainan yang menggunakan bola berbentuk telur, sedangkan “*submarine*” mengacu pada imitasi bentuknya yakni bentuk kapal selam. Jadi secara definisi *Eggball Submarine* merupakan mainan bola telur yang berbentuk kapal selam yang dimainkan dengan dilempar ke air.

Dalam era perkembangan teknologi yang pesat, kemampuan teknologi pencetakan 3D semakin maju, memungkinkan manusia untuk merancang dan memproduksi berbagai produk melalui printer 3D. Dengan kemajuan kemampuan teknologi tersebut, material 3D saat ini sudah bisa diterapkan pada produk mainan. Teknologi pencetakan 3D membuka pintu menuju kebebasan desain yang tak terbatas dalam pembuatan mainan. Dengan menggunakan material 3D, para desainer dapat menciptakan mainan dengan bentuk, detail, dan fitur yang sangat kompleks. Mainan yang sebelumnya sulit dicetak atau dibuat dengan metode konvensional, kini dapat direalisasikan dengan mudah menggunakan teknologi printer 3D.

Komparasi material-material filamen 3D pada produk mainan merupakan suatu langkah awal yang krusial dalam proses perancangan, produksi dan pengembangan suatu mainan. Pada perancangan mainan, desainer perlu untuk mempertimbangkan faktor-faktor dasar dalam perancangan sebuah produk mainan seperti kekuatan, fleksibilitas, tahan lama, keamanan, dan kemampuan cetak pada saat memilih material filamen yang akan digunakannya. Dengan melakukan komparasi material tersebut, desainer dapat membuat keputusan yang tepat dalam memilih material yang sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi mainan.

Komparasi material pada mainan *Eggball Submarine* merupakan langkah yang penting dalam memastikan bahwa mainan tersebut telah memenuhi standar kualitas, performa, dan keamanan yang optimal. *Eggball Submarine* adalah mainan yang dirancang untuk berinteraksi dengan air, sehingga komparasi diperlukan untuk memilih material filamen 3D seperti apa yang cocok untuk diterapkan pada produk *Eggball Submarine*. Komparasi dan pembuatan keputusan tersebut menjadi faktor penting dalam merancang mainan untuk memberikan pengalaman bermain yang menyenangkan dan aman kepada anak-anak.

BAHAN DAN METODE (MATERIALS AND METHODS)

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan komparatif. Menurut (Sugiyono, 2010), metode penelitian kualitatif cenderung mengumpulkan data berupa kata-kata, gambar, dan pengalaman subjektif, sedangkan metode penelitian kuantitatif mengumpulkan data berupa angka atau variabel yang dapat diukur (Nugrahani & Hum, 2014).

Metode kualitatif yang dilakukan pada penelitian ini ditujukan untuk mendapatkan informasi berupa seleksi material pada hasil penerapan cetak 3D pada produk mainan, khususnya pada mainan yang terhubung dengan air seperti mainan kapal selam.

Penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif yakni suatu metode penelitian yang dilakukan dengan membandingkan fenomena atau objek yang diteliti dalam dua atau lebih subjek penelitian dalam kondisi yang berbeda (Ramadhan, 2021). Metode komparatif adalah metode penelitian yang digunakan untuk membandingkan dua atau lebih kelompok yang mempunyai kesamaan dan perbedaan dalam variabel yang diukur (Moleong, 2017).

Dalam metode komparatif, data yang dikumpulkan biasanya berupa data kualitatif atau kuantitatif yang kemudian diolah dan dianalisis dengan teknik-teknik tertentu (Jaya, 2020). Hasil analisis kemudian digunakan untuk menghasilkan kesimpulan mengenai perbedaan atau kesamaan antara dua atau lebih kelompok atau kondisi yang dibandingkan. Pada penelitian ini akan dilakukan komparasi 4 material filamen yang digunakan

pada mainan *Eggball Submarine*. Yang akan menjadi target komparasi dari keempat material tersebut adalah ketahanan, pengaruh, kapabilitas yang dimiliki oleh keempat material filamen 3d yang diterapkan pada mainan *Eggball Submarine*.

HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULT AND DISCUSSIONS)

Hasil Komparasi Mainan *Eggball Submarine* dengan material PLA, ABS, TPU, PETG Beserta Beban Hasil & Durasi Cetak 3 Dimensi

Berdasarkan hasil komparasi antara mainan *Eggball Submarine* dengan material PLA, ABS, TPU, dan PETG, ditemukan beberapa perbedaan dalam kualitas cetak dari masing-masing material. Material ABS memiliki hasil cetak yang halus dan tidak berserat pada detil kecil seperti baling-baling, namun mengalami *layer lines* pada bagian badan bawah mainan. Material PLA memiliki hasil cetak dengan tekstur yang halus (Ramadhan et al, 2022) pada bagian badan utama, namun kualitas cetak pada detil kecil seperti bagian badan belakang tidak rapih dan mengalami *pillowing*. Material PETG memiliki hasil cetak yang berserat dan mengkilap, namun mengalami *layer lines* pada kurvatur depan dan belakang, serta terlihat jelas pada detil kecil di bagian baling-baling. Material TPE memiliki hasil cetak yang berserat kasar, tidak mengkilap, namun sangat lentur dan tahan terhadap benturan atau tekanan.

Berdasarkan hasil tersebut, setiap material memiliki karakteristik serta kelebihan dan kekurangan dalam kualitas cetaknya masing-masing. Hal tersebut dapat dijadikan acuan dalam pemilihan material yang dibutuhkan dalam cetak 3d untuk produk mainan agar sesuai dengan hasil yang diinginkan.

Berdasarkan komparasi tersebut didapat bahwa tiap material memiliki hasil beban serta durasi cetak yang berbeda-beda, diantaranya sebagai berikut. Material ABS memiliki beban 38,3 Gram dengan durasi cetak ± 3 Jam 45 Menit, Material PLA memiliki beban 48,4 Gram dengan durasi cetak ± 2 Jam 50 Menit, Material PETG memiliki beban 60 Gram dengan durasi cetak ± 2 Jam 50 Menit dan, Material TPE memiliki beban 20 Gram dengan durasi cetak ± 3 Jam 45 Menit.

Tabel 1. Komparasi berat hasil cetak mainan *Eggball Submarine*

No.	Foto	Penjelasan
1		<p>ABS (acrylonitrile butadiene styrene) Secara visual hasil cetak pada material ini memiliki karakteristik warna yang tidak kilap Kelebihan: Hasil cetak memiliki karakteristik halus dan tidak berserat pada detil kecil seperti pada bagian baling-baling. Kekurangan: hasil cetak pada badan bawah mainan mengalami <i>layer lines</i> yakni garis <i>layer</i> terlihat menonjol Memiliki beban: 38,3 Gram Durasi Cetak: ± 3 Jam 45 Menit</p>
2		<p>PLA (polylactic acid) Secara visual Hasil cetak pada material ini memiliki karakteristik yang berserat dan semi kilap Kelebihan: Hasil cetak pada material ini memiliki tekstur yang halus pada bagian badan utama. Kekurangan: Kualitas cetak pada detil kecil seperti bagian badan belakang tidak rapih dan mengalami <i>pillowing</i> alias bentuk bantalan yang timbul. Memiliki beban: 48,4 Gram Durasi Cetak: ± 2 Jam 50 Menit</p>

No.	Foto	Penjelasan
3		<p>PETG (polyethylene terephthalate glycol) Secara visual hasil cetak pada material ini memiliki karakteristik yang berserat dan mengkilap Kelebihan: Hasil cetak halus dan cenderung pada badan utama Kekurangan: Hasil cetak TPE mengalami <i>Layer lines</i> pada kurvatur depan dan belakang, serta terlihat jelas pada detil kecil di bagian baling-baling. Memiliki beban: 60 Gram Durasi Cetak: ± 2 Jam 50 Menit</p>
4		<p>TPE (thermoplastic elastomer) Secara visual hasil cetak pada material ini memiliki karakteristik yang berserat kasar, tidak mengkilap dan sangat lentur. Kelebihan: Tidak mudah patah, tahan terhadap benturan atau tekanan. Kekurangan: Kualitas cetak TPE memiliki hasil yang sangat kasar dan berserabut (<i>stringy</i>) terlebih pada bagian detil kecil dan kurvatur badan bawah. Memiliki beban: 20 Gram Durasi Cetak: ± 3 Jam 45 Menit</p>

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berat hasil cetakan 3D bervariasi tergantung pada jenis material dan *infill* yang digunakan. Material PETG memiliki berat cetakan yang paling tinggi, diikuti oleh PLA, ABS, dan TPE. Perbedaan beban tersebut terjadi akibat adanya perbedaan masa jenis dengan rincian sebagai berikut. Material ABS memiliki masa jenis 1,04g/cm³, Material PLA memiliki masa jenis 1,24g/cm³, Material PETG memiliki masa jenis 1,27g/cm³, Material TPE memiliki masa jenis 1,14g/cm³.

Kapabilitas Stabilitas Keseimbangan

Untuk memenuhi persyaratan mainan ini dapat dipajang adalah dengan melakukan uji stabilitas keseimbangan dengan memposisikan mainan *Eggball Submarine* berdiri dengan seimbang tanpa ada bantuan alas lainnya. Setelah ujicoba didapati bahwa sebagai berikut. Material ABS memiliki kemampuan berdiri seimbang, Material PLA tidak memiliki kemampuan berdiri seimbang, Material PETG memiliki kemampuan berdiri seimbang dengan mudah, Material TPE memiliki kemampuan berdiri seimbang dengan mudah.



Gambar 1. Komparasi Keseimbangan Mainan *Eggball Submarine*.
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan hasil uji stabilitas keseimbangan ini, dapat disimpulkan bahwa material ABS, PETG, dan TPE lebih cocok digunakan untuk mainan *Eggball Submarine* yang dapat dipajang dengan posisi berdiri seimbang. Sementara itu, material PLA kurang cocok untuk tujuan tersebut karena tidak memiliki stabilitas yang memadai dalam posisi berdiri.

Daya tahan suhu ruang

Uji komparasi daya tahan suhu ruang dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh suhu ruangan terhadap mainan *Eggball Submarine*. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati bagaimana material filamen cetak 3D yang digunakan pada mainan tersebut bereaksi terhadap suhu lingkungan dalam ruangan. Hasil dari uji coba ini penting untuk memastikan bahwa material filamen 3D yang digunakan tidak mengalami deformasi, kerusakan,

atau perubahan fisik lainnya saat terpapar suhu ruangan. Dalam ujicoba ini komparasi dilakukan di dalam ruangan yang memiliki suhu 31,3°C dengan kelembapan udara 66%.



Gambar 2. Komparasi Daya Tahan Suhu Ruang Padas Mainan Eggball Submarine.
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan hasil uji komparasi daya tahan suhu ruang terhadap beberapa material filamen cetak 3d mainan *Eggball Submarine* didapati hasil bahwa tidak ada reaksi atau perubahan fisik yang terjadi pada setiap jenis material Dalam komparasi tersebut semua material menunjukkan ketahanan yang baik terhadap suhu ruangan. Tidak ada reaksi atau perubahan fisik yang signifikan yang terjadi pada setiap jenis material saat terpapar suhu ruangan stabil.

Komparasi Daya Apung, Kapabilitas Menembus Air Posisi Normal, Vertikal, & Horizontal

Berdasarkan hasil uji coba setiap material dihasilkan dari cetak 3d didapati bahwa mainan dapat terapung dengan baik pada permukaan air namun dengan posisi terbalik akibat ada bagian desain mainan yang lebih berat.

Tabel 2.. Komparasi Keseimbangan Mainan Eggball

No.	Foto	Penjelasan
1		<p>ABS (acrylonitrile butadiene styrene) Dapat mengapung dengan kondisi terbalik Hasil uji lempar posisi normal: Material ABS dapat menembus permukaan serta cenderung meluncur lebih dalam dan kembali ke permukaan tanpa melompat. Hasil uji lempar posisi vertikal: Material ABS meluncur kedalam permukaan air tanpa memantul dan tidak menyentuh dasar wadah. Hasil uji lempar posisi horizontal: Material ABS Lebih sulit untuk meluncur kedalam permukaan air, tidak memantul dan tidak mendekati dasar wadah.</p>
2		<p>PLA (polylactic acid) Dapat mengapung dengan kondisi terbalik Hasil uji lempar posisi normal: Material PLA dapat menembus permukaan air serta cenderung meluncur lebih dalam hingga menghantam dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa melompat. Hasil uji lempar posisi vertikal: Material PLA meluncur kedalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan dengan gelombang lompatan kecil. Hasil uji lempar posisi horizontal: Material PLA meluncur kedalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.</p>
3		<p>PETG (polyethylene terephthalate glycol) Dapat mengapung dengan kondisi terbalik Hasil uji lempar posisi normal:</p>

No.	Foto	Penjelasan
		<p>Material PETG dapat menembus permukaan air serta cenderung meluncur lebih dalam hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan dengan melompat.</p> <p>Hasil uji lempar posisi vertikal: Material PETG meluncur kedalam permukaan hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.</p> <p>Hasil uji lempar posisi horizontal: Material PETG meluncur kedalam permukaan hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.</p>
4		<p>TPE (thermoplastic elastomer) Dapat mengapung dengan kondisi terbalik</p> <p>Hasil uji lempar posisi normal: Material TPE tidak menembus permukaan air dan tidak pula memantul dari permukaan air, sehingga terkesan seperti ‘lengket’ menempel pada permukaan air.</p> <p>Hasil uji lempar posisi vertikal: Material TPE tidak menembus permukaan air, dan sedikit memantul atau melompat ke arah atas permukaan air.</p> <p>Hasil uji lempar posisi horizontal: Material TPE tidak menembus permukaan air, dan tidak pula melompat dari permukaan air.</p>

Pada uji jatuh posisi vertikal, material ABS, PLA, dan PETG juga memiliki reaksi yang berbeda. Material ABS hanya meluncur ke dalam permukaan air tanpa memantul atau menyentuh dasar wadah. Material PLA meluncur ke dalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan dengan gelombang lompatan kecil. Material PETG meluncur ke dalam permukaan dengan keras hingga menghantam dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa lompatan. Sementara itu, material TPE tidak menembus permukaan air dan sedikit memantul atau melompat ke atas permukaan air.

Pada uji jatuh posisi horizontal, material ABS sulit untuk meluncur ke dalam permukaan air dan tidak mendekati dasar wadah. Material PLA meluncur ke dalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa lompatan. Material PETG meluncur ke dalam permukaan dengan keras hingga menghantam dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa lompatan. Material TPE tidak menembus permukaan air dan tidak melompat dari permukaan air.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa masing-masing material filamen memiliki reaksi yang berbeda ketika terbentur dengan air, dan posisi mainan terhadap hantaman ke air juga sangat berpengaruh dalam menghasilkan reaksi yang berbeda-beda.

Komparasi Pengaruh Uji Benturan ke Tanah, Lantai, dan Pengaruh Injakan Pada Mainan

Berdasarkan uji benturan dari lemparan ke arah tanah tidak membuat mainan *Eggball Submarine* mengalami kerusakan maupun deformasi sedikitpun.

Tabel 3. Komparasi uji ketahanan mainan *Eggball Submarine*

No.	Foto	Penjelasan
1		<p>ABS (acrylonitrile butadiene styrene)</p> <p>Hasil uji benturan ke tanah: Tidak ada bagian yang terlepas maupun pecah.</p> <p>Hasil uji benturan ke lantai: Badan utama bagian atas patah, poros baling-baling patah, baling-baling utuh.</p>

No.	Foto	Penjelasan
		<p>Hasil uji injakan: Mainan mengalami deformasi bentuk yakni berupa retakan dan mengalami lecet pada bagian badan mainan yang telah bersentuhan dengan permukaan lantai.</p>
2		<p>PLA (polylactic acid) Hasil uji benturan ke tanah: Tidak ada bagian yang terlepas maupun pecah. Hasil uji benturan ke lantai: Badan utama utuh, poros baling-baling patah, baling-baling utuh. Hasil uji injakan: Mainan tidak mengalami deformasi bentuk, namun mengalami lecet pada bagian badan samping kiri yang telah bersentuhan dengan permukaan lantai.</p>
3		<p>PETG (polyethylene terephthalate glycol) Hasil uji benturan ke tanah: Tidak ada bagian yang terlepas maupun pecah. Hasil uji benturan ke lantai: Badan utama utuh, poros baling-baling patah, sirip belakang patah. Hasil uji injakan: Mainan tidak mengalami reaksi apapun</p>
4		<p>TPE (thermoplastic elastomer) Hasil uji benturan ke tanah: Tidak ada bagian yang terlepas maupun pecah. Hasil uji benturan ke lantai: Tidak ada bagian yang terlepas maupun pecah. Hasil uji injakan: Bagian kurvatur depan pada badan utama mengalami sobek setelah uji injak.</p>

Uji benturan dilakukan dengan menjatuhkan mainan dari ketinggian 140 cm sesuai dengan prosedur Standar Nasional Indonesia ISO 8124-1:2010 yang meregulasi uji jatuh dilakukan pada ketinggian ± 138 cm.

Berdasarkan uji benturan mainan *Eggball Submarine* dengan dijatuhkan dari ketinggian 140 cm didapati hasil bahwa material ABS mengalami kerusakan dengan bagian atas badan dan poros baling-baling patah. Material PLA mengalami patah pada bagian poros baling-baling. Material PETG mengalami kerusakan pada bagian sirip dan poros baling-baling. Material TPE tidak mengalami kerusakan maupun deformasi bentuk.

Berdasarkan hasil uji injakan ini, didapati bahwa material filamen yang digunakan dalam produksi mainan *Eggball Submarine* memiliki reaksi yang berbeda terhadap injakan. Material seperti ABS dan PLA cenderung lebih rentan mengalami deformasi dan lecet, material PETG menunjukkan kestabilan terhadap injakan. Dan material TPE memiliki kekuatan lentur yang tinggi tetapi rentan mengalami sobek pada bagian tertentu.

Pembahasan

Evaluasi pengaruh material terhadap kualitas mainan *Eggball Submarine*

Evaluasi dilakukan untuk menemukan perbedaan yang dihasilkan dari tiap-tiap material filamen yang digunakan pada mainan *Eggball Submarine*. Hasil evaluasi yang dilakukan dalam penelitian terhadap berbagai jenis material yang digunakan pada mainan *Eggball Submarine* menunjukkan adanya kelebihan dan kekurangan pada masing-masing material tersebut.

Hasil evaluasi pada penelitian ini adalah dengan menilai dari tiap-tiap uji coba terhadap material *Eggball Submarine*. Uji coba yang dilakukan pada penelitian ini meliputi 3 tahapan komparasi yang meliputi komparasi

kualitas cetak, komparasi berat, dan komparasi stabilitas keseimbangan. Didapati bahwa komparasi kualitas cetak 3d dari tiap-tiap mainan memiliki hasil yang beragam.

Komparasi Kualitas Cetak

Pada komparasi kualitas cetak didapati hasil sebagai berikut: Diketahui bahwa material ABS memiliki kualitas cetak dengan tekstur permukaan halus, warna yang tidak kilap, dan bagian detil presisi. Untuk material PLA memiliki hasil cetak dengan tekstur permukaan bagian utama halus, warna semi kilap, dan tekstur kasar pada bagian detail kecil. Material PETG memiliki hasil cetak dengan tekstur berserat kasar, warna mengkilap, dan tekstur kasar pada bagian detail kecil. Dan material TPE memiliki hasil cetak dengan tekstur berserabut kasar, warna tidak mengkilap, tekstur kasar pada bagian detail kecil, dan kelenturan yang tinggi.

Komparasi Berat

Pada komparasi berat didapati hasil sebagai berikut: Material ABS memiliki beban 38,3 Gram, Material PLA memiliki beban 48,4 Gram, Material PETG memiliki beban 60 Gram, Material TPE memiliki beban 20 Gram. Setiap hasil cetak mainan *Eggball Submarine* memiliki berat gramasi yang berbeda, hal tersebut karena adanya perbedaan massa jenis yang dimiliki oleh masing-masing material filamen cetak 3d dengan rincian sebagai berikut: Material ABS memiliki masa jenis $1,04\text{g/cm}^3$, Material PLA memiliki masa jenis $1,24\text{g/cm}^3$, Material PETG memiliki masa jenis $1,27\text{g/cm}^3$, Material TPE memiliki masa jenis $1,14\text{g/cm}^3$.

Komparasi Stabilitas Keseimbangan

Material ABS dapat berdiri seimbang, Material PLA tidak dapat berdiri seimbang, Material PETG dapat berdiri seimbang, Material TPE dapat berdiri seimbang. Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan terhadap material filamen cetak 3d mainan *Eggball Submarine*, dapat disimpulkan bahwa setiap material memiliki karakteristik yang berbeda dan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kualitas mainan. Oleh karenanya, pemilihan material filamen dalam pembuatan mainan *Eggball Submarine* perlu mempertimbangkan kualitas cetak, berat, stabilitas keseimbangan, dan karakteristik lainnya sesuai dengan kebutuhan mainan.

Pengaruh Lingkungan Terhadap Mainan *Eggball Submarine*

Pengaruh lingkungan merupakan dampak yang ditimbulkan dari uji coba mainan *Eggball Submarine* terhadap lingkungan di sekitarnya. Dalam penelitian ini pengaruh lingkungan terhadap mainan *Eggball Submarine* meliputi pengaruh terhadap air dan pengaruh suhu ruangan terhadap mainan *Eggball Submarine*.

Hasil evaluasi pada penelitian ini adalah dengan menilai dari tiap-tiap uji coba terhadap material *Eggball Submarine*. Uji coba yang dilakukan pada tahapan ini meliputi 2 proses uji, yakni uji daya apung dan uji ketahanan suhu ruangan.

Uji daya apung

Pada tahap ini, uji daya apung dilakukan untuk melihat kemampuan mainan dalam menghadapi lingkungan air. Uji daya apung juga berguna untuk melihat apakah ada kebocoran atau tidak dari tiap-tiap material filamen cetak 3d pada mainan *Eggball Submarine*, dan pengujian ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa material filamen cetak 3D yang digunakan pada mainan tersebut tidak mengalami deformasi atau kerusakan saat terpapar lingkungan air. Dan pada uji daya apung didapati hasil sebagai berikut: Material ABS dapat mengapung dengan posisi terbalik tanpa kebocoran, Material PLA dapat mengapung dengan posisi terbalik tanpa kebocoran, Material PETG dapat mengapung dengan posisi terbalik tanpa kebocoran, Material TPE dapat mengapung dengan posisi terbalik tanpa kebocoran.

Uji Daya Tahan Suhu Ruang

Pada tahap ini, uji daya tahan terhadap suhu ruang dilakukan untuk mengamati bagaimana mainan daya tahan *Eggball Submarine* dalam suhu lingkungan dalam ruangan. Pengujisn ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa material filamen cetak 3D yang digunakan pada mainan tersebut tidak mengalami deformasi atau kerusakan saat terpapar suhu ruangan. Material ABS tidak bereaksi apapun, Material PLA tidak bereaksi apapun, Material PETG tidak bereaksi apapun, Material TPE tidak bereaksi apapun.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap pengaruh lingkungan terhadap mainan *Eggball Submarine*, seluruh material filamen yang digunakan pada mainan *Eggball Submarine* mampu mengapung dengan posisi terbalik tanpa adanya kebocoran dan deformasi bentuk. Hal ini menunjukkan bahwa mainan *Eggball Submarine* dapat digunakan di lingkungan air, dan diperlukan penyesuaian kembali pada desain *Eggball Submarine*. Selain itu,

dalam pengujian terhadap suhu ruangan, mainan *Eggball Submarine* tidak menunjukkan reaksi apa pun pada setiap material filamen yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa mainan ini memiliki ketahanan terhadap suhu ruangan yang umumnya ada di dalam rumah atau area bermain dalam ruangan.

Pengaruh posisi gerak dinamis terhadap kapabilitas menembus permukaan air

Posisi gerak dinamis merupakan salah satu faktor yang tidak bisa dipisahkan pada saat bermain dengan mainan *Eggball Submarine*. Dalam penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap pengaruh posisi gerak dinamis terhadap kapabilitas mainan dalam menembus permukaan air.

Hasil evaluasi pada penelitian ini adalah dengan menilai dari tiap-tiap uji coba terhadap material *Eggball Submarine*. Uji coba yang dilakukan pada tahapan ini meliputi 3 proses uji mainan *Eggball Submarine* terhadap benturan ke air. Metode uji coba dilakukan dengan 3x percobaan, yakni dengan posisi mainan *eggball* mengarah diagonal, vertikal dan dengan posisi mainan *eggball* mengarah horizontal.

Uji Coba Lemparan ke Air Posisi Vertikal

Dalam uji coba dilempar ke dalam air dengan posisi diagonal, ditemukan hasil sebagai berikut:

Material ABS dapat menembus permukaan serta cenderung meluncur lebih dalam dan kembali ke permukaan tanpa melompat.

Material PLA dapat menembus permukaan air serta cenderung meluncur lebih dalam hingga menghantam dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa melompat.

Material PETG dapat menembus permukaan air serta cenderung meluncur lebih dalam hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan dengan melompat.

Material TPE tidak menembus permukaan air dan tidak pula memantul dari permukaan air, sehingga terkesan seperti 'lengket' menempel pada permukaan air.

Uji Coba Lemparan ke Air Posisi Vertikal

Dalam uji coba dilempar ke dalam air dengan posisi vertikal, ditemukan hasil sebagai berikut:

Material ABS meluncur kedalam permukaan air tanpa memantul dan tidak menyentuh dasar wadah.

Material PLA meluncur kedalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan dengan gelombang lompatan kecil.

Material PETG meluncur kedalam permukaan hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.

Material TPE tidak menembus permukaan air, dan sedikit memantul atau melompat ke arah atas permukaan air.

Uji Coba Lemparan ke Air Posisi Horizontal

Dalam uji coba dilempar ke dalam air dengan posisi horizontal, ditemukan hasil sebagai berikut:

Material ABS lebih sulit untuk meluncur kedalam permukaan air, tidak memantul dan tidak mendekati dasar wadah.

Material PLA meluncur kedalam permukaan hingga menyentuh dasar wadah dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.

Material PETG meluncur kedalam permukaan hingga menghantam dasar wadah dengan keras dan kembali ke permukaan tanpa lompatan.

Material TPE tidak menembus permukaan air, dan tidak pula melompat dari permukaan air.

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa posisi gerak dinamis pada mainan *Eggball Submarine* mempengaruhi kapabilitas menembus permukaan air. Setiap material filamen memiliki karakteristik yang berbeda dalam menghadapi posisi gerak tersebut.

Evaluasi Keamanan mainan *Eggball Submarine*

Keamanan mainan merupakan aspek yang sangat penting dalam perancangan dan produksi mainan, terkhusus pada mainan *Eggball Submarine*. Evaluasi keamanan pada mainan ini melibatkan penilaian terhadap material yang digunakan dalam pembuatannya. Dalam evaluasi keamanan mainan *Eggball Submarine*, material filamen cetak 3D yang digunakan harus memenuhi parameter keamanan yang dibutuhkan seperti uji lemparan ke air, uji benturan ke tanah, uji benturan ke lantai dan uji injakan.

Uji lemparan ke air

Uji lemparan ke air ditujukan untuk mengetahui keamanan mainan *Eggball Submarine* saat dimainkan di air. Uji lemparan ke air juga untuk meneliti apakah ada bagian yang pecah atau rusak setelah dilakukan pelemparan ke air. Uji lemparan ke air didapati hasil sebagai berikut.

Material ABS tidak mengalami kerusakan

Material PLA tidak mengalami kerusakan

Material PETG tidak mengalami kerusakan

Material TPE tidak mengalami kerusakan

Uji benturan tanah

Uji benturan Tanah ditujukan untuk mengetahui keamanan mainan *Eggball Submarine* saat dimainkan di luar ruang. Pengujian ini juga ditujukan untuk meneliti apakah ada bagian yang pecah atau rusak setelah dilakukan uji benturan tanah. Uji benturan Tanah didapati hasil sebagai berikut.

Material ABS tidak mengalami kerusakan

Material PLA tidak mengalami kerusakan

Material PETG tidak mengalami kerusakan

Material TPE tidak mengalami kerusakan

Uji Benturan Lantai

Uji benturan lantai ditujukan untuk mengetahui keamanan mainan *Eggball Submarine* saat dimainkan di dalam ruang. Pengujian ini juga ditujukan untuk meneliti apakah ada bagian yang pecah atau rusak setelah dilakukan uji benturan lantai. Uji benturan lantai didapati hasil sebagai berikut.

Material ABS mengalami kerusakan dengan rincian Badan utama bagian atas patah, poros baling- baling patah, baling-baling utuh.

Material PLA mengalami kerusakan dengan rincian Badan utama utuh, poros baling-baling patah, baling-baling utuh.

Material PETG mengalami kerusakan dengan rincian Badan utama utuh, poros baling-baling patah, sirip belakang patah, dan baling-baling utuh

Material TPE tidak mengalami kerusakan maupun deformasi.

Uji Injakan

Uji injakan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana kekuatan mainan apabila terinjak oleh kaki pada saat tidak dimainka. Pengujian ini juga ditujukan untuk meneliti bagaimana dampak kerusakan yang ditimbulkan setelah uji injak dilakukan. Uji injak didapati hasil sebagai berikut.

Material ABS mengalami deformasi bentuk yakni berupa retakan dan mengalami lecet pada bagian badan mainan yang telah bersentuhan dengan permukaan lantai.

Material PLA tidak mengalami deformasi bentuk, namun mengalami lecet pada bagian badan samping kiri yang telah bersentuhan dengan permukaan lantai.

Material PETG tidak mengalami kerusakan

Material TPE tidak mengalami kerusakan dengan bagian kurvatur depan pada badan utama mengalami sobek setelah uji injak.

Berdasarkan hasil evaluasi keamanan yang telah dilakukan pada mainan *Eggball Submarine* dengan penggunaan berbagai material filamen Pada uji lemparan ke air dan uji benturan ke tanah, seluruh material yang digunakan terbukti mampu bertahan tanpa mengalami kerusakan. Hal tersebut membuktikan bahwa tiap material filamen yang digunakan pada mainan *Eggball* menunjukkan performa yang baik dalam berbagai lingkungan, baik itu dalam air atau di luar ruang. Namun, pada uji benturan lantai dan uji injakan, terjadi perbedaan signifikan dalam respon dari masing-masing material. Material ABS, PLA, dan PETG menunjukkan beberapa tingkat kerusakan dan deformasi, sementara TPE bertahan tanpa kerusakan atau deformasi. Ini menunjukkan bahwa dalam situasi yang melibatkan benturan keras atau tekanan tinggi terhadap mainan *Eggball Submarine*, performa dan ketahanan material akan uji coba tersebut memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing.

Implikasi Hasil Komparasi Material pada Mainan *Eggball Submarine*

Hasil evaluasi dari komparasi material pada mainan *Eggball Submarine* berperan penting sebagai modal dasar dalam menentukan kualitas dan performa mainan tersebut. Melalui proses komparatif ini, berbagai jenis filamen cetak 3D yang digunakan dalam pembuatan mainan *Eggball Submarine* diuji dan dibandingkan untuk mengidentifikasi karakteristik unik masing-masing.

Hasil perbandingan material pada mainan *Eggball Submarine* menunjukkan perbedaan signifikan dalam karakteristik antara berbagai jenis filamen cetak 3D. Dari perbandingan ini, beberapa implikasi penting dapat diturunkan terkait kualitas cetakan, ketahanan dan stabilitas material, serta interaksi mereka dengan lingkungan.

Kualitas cetakan adalah salah satu faktor kunci dalam penelitian perbandingan ini. Setiap material menawarkan tekstur permukaan yang berbeda dan kemampuan untuk mempertahankan detail dengan presisi tinggi atau rendah. Faktor ini memiliki dampak langsung pada estetika visual mainan *Eggball Submarine*.

Ketahanan dan stabilitas material juga memiliki pengaruh signifikan dalam hasil perbandingan. Beberapa material mungkin lebih tahan terhadap benturan dan tekanan, sementara yang lain mungkin lebih rentan terhadap deformasi dan kerusakan.

Interaksi material dengan lingkungan adalah pertimbangan lain yang penting. Mainan *Eggball Submarine* akan berinteraksi dengan air dan faktor lingkungan lainnya. Oleh karena itu, filamen cetak 3D yang tahan air, stabil pada berbagai suhu, dan tahan terhadap pengaruh lingkungan lainnya menjadi pilihan yang ideal.

Berdasarkan hasil perbandingan, jelas bahwa setiap material memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu. Perbandingan ini memberikan gambaran mendalam tentang potensi masing-masing material dalam hal kualitas cetak, kekuatan, stabilitas, dan interaksi dengan lingkungan.

KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemilihan jenis filamen 3D sangat mempengaruhi kualitas akhir dan performa dari mainan *Eggball Submarine*. Setiap jenis filamen memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, dan pemilihan filamen harus disesuaikan dengan kebutuhan dan spesifikasi produk. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya melakukan komparasi material dalam proses desain dan produksi untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar keamanan, kualitas, dan estetika yang diinginkan. Bahwa pemilihan material filamen cetak 3D untuk konteks desain mainan harus dapat menyesuaikan dengan karakteristik mainan itu sendiri, terutama mainan yang terhubung dengan lingkungan pada saat bermainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D. (2018). Pengembangan Alat Permainan Edukatif Dengan Barang Bekas Untuk Mengembangkan Bahasa Anak Usia Dini Di Ra Al-Hidayah Kecamatan Kasui Kabupaten Waykanan (Doctoral dissertation, UIN Raden Intan Lampung).
- Fitriyanti, C., & Hasballah, J. (2023). Pengembangan Alat Permainan Edukatif Kantong Gurita Untuk Mengembangkan Motorik Halus Anak. *J-HyTEL: Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, 1(2), 75-86.
- Fonna, N. (2019). Pengembangan revolusi industri 4.0 dalam berbagai bidang. Bogor: Guepedia.
- Ikhsanto, L. N., & Zainuddin, Z. (2019). Analisa Kekuatan Bending Filamen Abs Dan Pla Pada Hasil 3d Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(1), 9-17.
- Jaya, I. M. L. M. (2020). Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif: Teori, Penerapan, dan Riset Nyata. Yogyakarta: Anak Hebat Indonesia.
- Maulana, A. J. P., Widodo, A., & Kholis, N. (2021). Rancang Bangun Kartesian Robot Untuk Mencetak Gambar Pada Pancake. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(3), 749-756.
- Misdawati, M. (2019). Analisis Kontrastif Dalam Pembelajaran Bahasa. *A Jamiy: Jurnal Bahasa Dan Sastra Arab*, 8(1), 53-66.
- Nugrahani, F., & Hum, M. (2014). Metode penelitian kualitatif. Solo: Cakra Books

- Pamasaria, H. A., Saputra, T. H., Utama, A. S., & Budiyanoro, C. (2020). Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode Taguchi. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 4(1), 12-19.
- Prabowo, R., & Zoelangga, M. I. (2019). Pengembangan Produk Power Charger Portable dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 8(1), 55-62.
- Rahmadina, R. (2021). Modul Ajar: Biologi Sel Dalam Kehidupan. Medan: UIN Sumatera Utara
- Ramadhan, A., Syarifuddin, G., Cahyaningrum, D., & Pribadi, S. (2021, April). Utilization of Three Dimensional Printers as a Production Tool. In International Conference on Engineering, Technology and Social Science (ICONETOS 2020) (pp. 418-423). Atlantis Press.
- Ramadhan, A., Syarifuddin, G., Pribadi, S., & Medina, R. (2022). Physical Character Of Polylactic Acid Material. In International Symposium on Cultural Heritage, Universitas Mercu Buana, DKI Jakarta (pp. 273-280).
- Ramadhan, M. (2021). Metode penelitian. Jakarta: Cipta Media Nusantara.
- Sayidah, N. (2018). Metodologi penelitian disertai dengan contoh penerapannya dalam penelitian. Sidoarjo: Zifatama Jawara.
- Shabiriani, U. N. (2016). TA: Penciptaan Buku Pop-Up Cerita Panji Semirang Kediri dengan Menggunakan Ilustrasi Kartun sebagai Upaya Pengenalan Warisan Budaya Lokal (Doctoral dissertation, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya).
- Soegijono, M. S. (1993). Wawancara sebagai salah satu metode pengumpulan data. *Media Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan*, 3(1), 157152.
- Sugiyono, P. D. (2010). Metode Peneliian. Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta
- Virendra, S. (2023, March 3). 3D Printing Desain Model Bisnis untuk Teknologi dan Industri Baru. <https://doi.org/10.31219/osf.io/qkxdr>
- Wibowo, R. A. (2019). Manajemen Pemasaran Edisi 1. Semarang: *Semarang University*.