

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Pustaka

Pada saat melakukan penelitian, sangat diperlukan literasi dan observasi sebagai referensi untuk mencari sumber yang berkaitan dengan judul yang diambil dalam penelitian.

Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel 2.1. Komparasi Kajian Pustaka

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
1.	<i>Influence of Internal Fill Pattern, Polishing Time and Z-Axis Orientation on the Tensile Strength of the 3D Printed Part</i>	Dicky Seprianto, Iskandar, Romi Wilza, EYT Adesta (2019)	<i>International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)</i>	<i>Based on statistical analysis using DesignExpert® software with design type 2 level factorial known interaction between internal fill pattern with Z-axis orientation contribute 52% to the tensile strength of specimens.</i>

2.	Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D <i>Printing</i> Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri	Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar (2017)	Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada 2017	Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa desain eksperimen tipe <i>2 level factorial</i> dengan model <i>4 factorial interaction</i> (4FI) berbantuan perangkat lunak <i>design-expert</i> telah berhasil dibuat untuk memprediksi pengaruh faktor-faktor terhadap akurasi geometri objek <i>3D printing</i> dengan <i>teknologi FDM</i> . Dari persamaan regresi <i>linier</i> terhadap respon <i>length, width</i> dan <i>height</i> yang dihasilkan menggunakan ANOVA dan telah dilakukan uji konfirmasi dapat ditentukan kondisi optimal kombinasi <i>factor</i> yaitu <i>layer height=0.14</i>
----	--	--	---	--

3.	<i>Counter-Gravity Casting of IN625 Alloy in Thin-walled Investment Shell Moulds.</i>	Bhupathi, T. M. (2008)	<i>International Journal of Research gate 2008.</i>	<p><i>solutions for upgrading our current gravity pouring processes.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. All gravity poured castings would benefit from the elimination of all types of pouring basins, but particularly the elimination of the conical basin, and the consequent adoption of the contact pour technique.</i></li> <li><i>2. Large gravity poured castings, particularly ingots for subsequent forging or rolling, would additionally benefit from the adoption of a sand-molded naturally pressurised filling system.</i></li> <li><i>3. The full implementation of melt cleaning and turbulence-free</i></li> </ol>
----	---	------------------------	---	--

4.	Pengaruh Paduan Serbuk Fe12% pada Aluminium terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode <i>Gravity Casting</i>	Sumpena, S. (2017).	Jurnal ENGINE Vol.1 No.1, Mei 2017, pp 20-25 e-ISSN: 2579-7433	Benda coran secara umum mengalami porositas dan penyusutan, terutama pada bagian permukaan benda yang atas. Porositas terjadi karena terak yang ikut dalam logam cair dan membeku bersamaan logam cair. Porositas juga terjadi karena adanya gas hydrogen yang terjebak didalam logam cair tidak bisa keluar melalui pori-pori pasir cetak. Penyusutan. Pengaruh paduan Fe 12% terhadap porositas adalah rata – rata porositas yang terjadi pada spesimen A, B dan C sebesar 2,766 gr/cm <sup>3</sup>
----	--	---------------------	--	---

5.	Pengaruh Variasi Dimensi Saluran Tuang	Sumpena. 2016.	Program Studi Teknik Mesin, Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta. ISSN 1829-6181	Pengaruh dimensi saluran tuang terhadap kekerasan adalah kekerasan tertinggi diperoleh pada diameter saluran tuang 17 mm dengan nilai kekerasan 107,98 VHN sedangkan nilai kekerasan terendah diperoleh dengan diameter saluran tuang 15 mm nilai kekerasan 88,3 VHN.
6.	<i>Counter gravity casting.</i>	<i>Campbell, J. (2015).</i>	<i>University of Birmingham, UK</i>	<i>Counter gravity filling of molds can ensure the filling process itself does not introduce defects in the casting. However, to achieve optimum results, prior processes to eliminate the oxide skins on the charge, and to eliminate the oxide bifilm populations already present in the</i>

				<i>charge, require to be implemented</i>
7.	Kajian Eksperimental Pengaruh Paduan Timah Aki (10%, 15%, 20%, 25%) Pada Coran Tembaga Pipa AC (Air Conditioner) Bekas Terhadap Sifat Mekanik	H. Alian, Ibrahim (2013).	Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 13 No. 1 Maret 2013	Pada Pengujian Kekerasan, kekerasan tertinggi terdapat pada hasil pengecoran Tembaga paduan timah 10% dengan nilai kekerasan 53,0610 BHN. Pada hasil coran tembaga dengan paduan timah 15%, 20%, dan 25%, nilai kekerasannya semakin kecil.
8.	<i>Optimasi desain cetakan pada mesin pengecoran bola timah putih untuk industri kecil</i>	Suwandi, A., Djatmiko, E., Ediyanto, T., Suwandi, A., Suhendar. 2012	Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik - Universitas Pancasila. 2012	Tinggi cawan penampungan ( <i>pouring cup</i> ) timah cair dibuat melengkung pada tiap sudutnya agar seluruh timah cair dapat turun dengan cepat ke <i>sprue</i> dengan hasil desain untuk tinggi cawan penampungan 20 mm dengan sudut kemiringan 101,5o .

				Saluran pendingin dibuat menjadi satu dengan cetakan agar pendinginan material cetakan merata dan mengurangi deformasi akibat perlakuan panas yang berulang.
9.	<i>A Multiple-Gate runner System For Gravity Casting</i>	<i>Hsu, F., Jolly, M. R., &amp; Campbell, J. (2009).</i>	<i>Journal of Material Processing Technology, Volume 209, Issue 17, 19 Agustus 2009</i>	<i>Progressive filling of the L-junction geometry can be improved by reducing the area of the “dead zone” by converting to Bend type junctions. Bends have higher friction and advantageously reduce the speed of flow.</i>

10.	<i>The Desain Of L-Shaped Runners For Gravity Casting</i>	Hsu, F., Jolly, M. R., & Campbell, J. (2007).	<i>Shape Casting: 2 International Symposium nd Edited by Paul N. Crepeau, Murat Tiryakioğlu and John Campbell TMS (The Minerals, Metals &amp; Materials Society), 2007</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guidelines for the designing of L-junctions have been developed.</li> <li>2. The 2D models are relatively poor simulations compared to the 3D models of junctions.</li> <li>3. Progressive filling along the L-junction geometry can be improved by reducing the area of the “dead zone”.</li> <li>4. L-Junctions, if designed as in this study, have a relatively small frictional loss compared to the longer length channels of the filling system such as the sprue and the runner.</li> </ol>
-----	---	---	--	--

(Sumber: Diolah)

## 2.2 Computer Aided Design (CAD)

*Computer Aided Design* adalah suatu perangkat lunak komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi, 3 dimensi dan *solid modeling*.



Berawal dari menggantikan fungsi meja gambar kini perangkat lunak CAD telah berevolusi dan terintegrasi dengan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*) dan CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Integrasi itu dimungkinkan karena perangkat lunak CAD saat ini merupakan aplikasi desain produk/komponen dalam bentuk *solid* dan/atau *surface modelling*. *Solid* model memungkinkan kita untuk memvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara realistis. Selain itu model mempunyai properti seperti *massa*, *volume*, pusat gravitasi, luas permukaan dan sebagainya. Beberapa perangkat lunak CAD yang digunakan di Indonesia yaitu: *Alias*, *CATIA*, *Autodesk® Inventor®*, *Pro/ENGINEER®*, *Parasolid®*, *SolidWorks™* dan *Power Shape* dan *UGS NX*. (Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2017).

### 2.3 Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku / bahan benda kerja dengan proses peleburan/pencairan logam di dalam tungku peleburan yang kemudian hasil peleburan di masukkan kedalam cetakan. Tahapan dalam proses pengecoran adalah pembuatan model (pola), pembuatan cetakan, peleburan logam, menuang logam ke dalam cetakan dan membongkar serta membersihkan hasil pengecoran (Surdia, 1982).

### 2.4 Perkembangan Teknik Pengecoran Logam

Sejak tahun 4000 sebelum Masehi teknologi pengecoran terus berkembang mengikuti perkembangan material dan perkembangan teknologi lainnya yang ikut berkontribusi bagi proses pengecoran. Penemuan-penemuan di bidang elektronika juga berdampak pada perkembangan proses pengecoran yang lebih produktif dan efisien. Sistem robot masuk ke dalam proses pengecoran sekitar tahun 1970 Masehi dan sejak itu proses pengecoran terus mengalami penyempurnaan dalam berbagai bagian baik sistem produksi maupun manajemen produksinya.

Secara umum berbagai penemuan penting dalam perkembangan teknologi pengecoran dirangkum sebagai berikut:

- 4000 SM : Berbagai perhiasan dibuat dengan cara pengecoran.
- 2500 SM : Pengecoran dengan pola lilin mulai dikenal.
- 2000 SM : Paduan tembaga mulai dikembangkan.
- 1500 SM : Mesir menggunakan tungku pelebur dengan peniup (cikal

bakal tanur kupola).

- 1000 SM : Awal jaman besi, namun cara peleburan besi belum ditemukan.
- 500 SM : Cina menemukan cara peleburan besi.
- 500 SM : Tuangan berongga dikembangkan di Yunani dari bahan perunggu.
- 200 SM : Cina mengembangkan teknik pengerjaan panas.
- 70 M : Pilinus SR, mulai memasyarakatkan pengetahuan teknik pengolahan dan pengerjaan logam.
- 747 M : Jepang membuat patung budha seberat 380 ton (rekor tuangan tembaga terberat di dunia, sampai saat ini belum terpecahkan).
- 1707 M : A Darby (inggris) mendapatkan hak kapten untuk menggunakan cetakan dengan pasir cetak.
- 1740 M : Huntsman (inggris) menemukan cara peleburan baja.
- 1860 M : Tanur kapola dengan konstruksi modern mulai.
- 879 M : Wilhelm Siemens memperkenalkan tanur bertenaga listrik pertama, yaitu tanur busur api.
- 1890 M : Mekanisasi pengecoran dengan ban berjalan dikembangkan di *pittsburg* USA.
- 1891 M : Kjellin memperkenalkan tanur induksi frekwensi rendah.
- 1893 M : H. Rolle mendapatkan hak paten pengecoran dengan cetakan logam dan merupakan pengecoran pertama dengan cara ini.
- 1915 M : Pengecoran sentrifugal pertama kali digunakan di sao Paulo, Brazil.
- 1943 M : Johannes Croning mendapatkan hak paten untuk penemuannya yaitu cetakan kulit.
- 1942 M : Pengembangan besi tuang kelabu menjadi besi tuang kelabu bergrafit bulat.
- 1955 M : Analisa panas mulai digunakan pada pabrik pengecoran.
- 1970 M : Robot memasuki industri pengecoran.

Peralihan menuju ke produksi massal menuntun para ahli pengecoran untuk merencanakan peralatan peleburan, pembuatan cetakan dan pengerjaan akhir yang mampu bekerja terus menerus secara mekanis.

## **2.5 Timah**

### **2.5.1 Timah Putih (Sn)**

Timah atau timah putih (untuk membedakannya dari timbel yang secara salah kaprah disebut timah hitam) adalah unsur berupa logam putih lunak, mudah ditempa, bewarna putih keperakan. Timah mempunyai lambang kimia Sn, nomor atom 50, masa atom relatif 118,71, dan rapatan 7,2984 gram per sentimeter kubik. Timah meleleh pada 232.0°C dan mendidih pada 270°C. Timah termasuk logam yang sudah dikenal dan digunakan sejak zaman kuno. Sekitar 3500 SM orang di kota Ur.Mesopotamia utara (sekarang Irak) menggunakan benda-benda perunggu suatu aliase timah dan tembaga (Ensiklopedia Nasional Indonesia, 1997 : 314). Di Indonesia timah mulai ditemukan sekitar tahun 1709 di Pulau Bangka, yang mula mula digali di Sungai Olin di Kecamatan Toboali oleh orang-orang johor atas pengalaman mereka di semenanjung Malaka. Dengan diketemukannya timah ini, mulailah Pulau Bangka disinggahi oleh segala macam perahu dari Asia maupun Eropa. Perusahaan-perusahaan penggalian timah pun semakin maju, sehingga Sultan Palembang mengirimkan orang-orangnya ke Semenanjung Negeri Cina untuk mencari tenaga-tenaga ahli yang kian terasa sangat diperlukan. Pada tahun 1717 mulai diadakan perhubungan dagang dengan VOC untuk penjualan timah (Erwiza Erman, 1992 : 56).

### **2.5.2 Timah Hitam (Pb)**

Timbel adalah unsur logam kelabu kebiruan dan berat. Ribuan tahun yang lalu manusia menggunakan untuk bahan bangunan, tembikar, dan benda lain. Timbel penting bagi industri yang menghasilkan bahan kimia, energi nuklir, dan minyak bumi. Timbel mudah ditempa dan ditarik menjadi kawat. Timbel tahan terhadap air dan asam sulfat karena terlindung oleh lapisan oksida tipis. Timbel mempunyai lambang kimia Pb (dari nama Latin Plumbum), dengan nomor atom 82, masa atom relatif 207,19. Timbel meleleh pada 327,5°C dan mendidih pada 1740°C. Rapatan timbel 11,35 gram per sentimeter kubik. Penggunaan terbesar timbel adalah dalam pembuatan aki. Aki menggunakan lempeng *spons* timbel dan

timbel dioksida serta aliase timbel *stibium*. Penggunaan terbanyak kedua adalah untuk membuat peramu bensin (*tetraethyltimbel*) agar penampilan motor bakarnya meningkat, namun gas buangnya akan mencemari lingkungan. Selanjutnya timbel digunakan untuk membuat cat dan zat warna, bahan peledak, insektisida dan produk karet. Timbel juga digunakan untuk menutupi kabel telepon karena timbel tidak menghantarkan listrik dengan baik (Ensiklopedia Nasional Indonesia , 1997 : 323).

## **2.6 Desain Eksperimen**

Desain eksperimen dapat diartikan sebagai rancangan percobaan yang dilakukan melalui perubahan-perubahan terencana terhadap variabel input suatu proses atau system sehingga dapat ditelusuri penyebab dan faktor-faktor sehingga membawa perubahan pada output sebagai respon dari eksperimen yang telah dilakukan (Johan Trygg dan Svante Wold, 2002). Pada umumnya eksperimen digunakan untuk mempelajari performance proses atau sistem yang biasanya divisualisasikan seperti kombinasi mesin, metode, orang dan sumber daya lainnya. Karena itu perlu digunakan suatu pendekatan statistik yang diaplikasikan pada proses eksperimen. Desain eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi/data sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas. Penelitian juga hendaknya dilakukan seefisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga dan bahan yang harus digunakan. (Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2017).

## **2.7 Katalis**

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan lebih cepat. Dalam suatu reaksi sebenarnya katalis ikut terlibat, tetapi pada akhir reaksi terbentuk kembali seperti bentuknya semula. Dengan demikian, katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem dan secara termodinamika tidak dapat mempengaruhi keseimbangan. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi sebagai akibat dari interaksi antara katalis dan reaktan. Katalis menyediakan situs-situs aktif yang berperan dalam proses reaksi. Situs-situs aktif ini dapat berasal dari logam-logam yang terdeposit pada permukaan atau dapat pula berasal dari permukaan sendiri. Logam-logam tersebut umumnya adalah logam-logam transisi yang menyediakan orbital kosong atau

elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu (Campbell, 1998).

## 2.8 *Liquid Photopolymer Resin*

Suatu *photopolymer* atau resin yang diaktifkan cahaya adalah suatu polimer yang mengubah sifat-sifatnya ketika terpapar cahaya, seringkali dalam daerah *ultraviolet* atau terlihat dari spektrum elektromagnetik. Gambar ilustrasi resin setelah proses pencetakan dengan SLA-DLP 3D *Printer* seperti pada Gambar 2.4 dibawah ini. (Mon°Cure 3D, 2019).



Gambar 2.1 *Liquid photopolymer resin* setelah proses pencetakan

## 2.9 *Gravity Casting*

Metode pengecoran yang sering digunakan dan paling sederhana adalah menggunakan metode pengecoran gravitasi. Dalam pengecoran gravitasi lelehan dituangkan secara manual dari cawan ke dalam cetakan yang ditempatkan di bawah cawan. Logam cair memperoleh kecepatan logam cair meningkat dengan meningkatnya ketinggian drop. Penelitian terbaru tentang proses pengecoran gravitasi telah menunjukkan bahwa logam cair dengan mudah melampaui kecepatan kritis 0,5 m / detik dan masuk ke dalam rongga cetakan dengan cara yang bergejolak. Kecepatan dampak tinggi dan aliran turbulen logam menghasilkan erosi permukaan cetakan, reoksidasi logam dan pemasukan gas dan inklusi oksida dalam pengecoran. (Amit Jyoti Banerjee, Gopal Prasad Sinha, 2007).

## 2.10 *Vacum Chamber*

Alat ini di gunakan untuk memampatkan dan mengangkat udara yang mengisi di celah celah dalam *liquid silicone Mol Max60*™ dari hasil adukan antara *silicone* dan *catalis* ini akan menghasilkan gelembung-gelembung udara di dalam *liquid*, hal ini tentunya akan berpengaruh pada kepadatan *volume silicone* serta hasil kehalusan permukaan cetakan ketika sebelum di keringkan, untuk membuang gelembung gelembung udara yang terdapat dalam *silicone* tersebut sehingga *volume silicone* rapat dan padat maka di butuhkan alat yang dapat mengangkat dan membuang

gelembung udara, hal ini dapat dilakukan dengan alat *vacum chamber* dengan tabung *vacum chamber* yang rapat Ruang vakum adalah penutup yang kaku tempat udara dan gas lainnya dilepas oleh pompa vakum. Ini menghasilkan lingkungan bertekanan rendah di dalam ruang, yang biasa disebut sebagai ruang hampa udara.

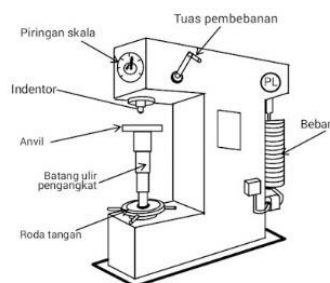
### 2.11 *Mol Max 60*™

Silikon mol max 60™ adalah salah satu jenis karet silikon yang dapat menahan panas hingga 560°F/294°C. Cetakan karet silikon ini akan mereproduksi detail terbaik dari berbagai aplikasi industri dan seni yang terkait termasuk mereproduksi prototipe, *furnitur*, patung dan elemen arsitektur. Gunakan mereka untuk melemparkan berbagai bahan termasuk lilin, gipsum, paduan logam rendah / logam dan uretan, *resin epoksi* atau *polyester*. (SmootOn 2019).

### 2.12 Uji Kekerasan *Brinell* Mekanis

Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Pengujian kekerasan logam ini secara garis besar ada tiga metode yaitu penekanan, goresan dan dinamik. (Suwandono, 2010).

Pengujian kekerasan *brinell* menggunakan penumbuk (*Indentor/penetrator*) yang terbuat dari bola baja. Metode ini dilakukan dengan cara bahan diindentasi dengan *indentor* pada permukaan benda uji dengan benda tertentu kemudian diukur bekas penekanan terbentuk. (Ferdiaz, 2009).



Gambar 2.2 Mesin Brinell manual

Dalam pengujian ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Hb = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Keterangan:

Hb : Hardness Brinell (kekerasan brinell)

F : Gaya F (kgf)

D : Diameter indentor (mm)

d : Diameter indentasi (mm)

$\pi$  : Angka ketetapan (konstanta = 3,14)

$Kg/mm^2$  : Angka satuan metode brinell

### 2.13 *Analysis Of Variance (Two-Way ANOVA)*

(Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2018) ANOVA pada dasarnya bertujuan untuk menguji hipotesa ( $H_0$ ) bahwa rata-rata dari dua atau lebih sebuah populasi adalah sama. Konsep analisis variansi didasarkan pada konsep distribusi F dan dapat diaplikasikan untuk analisis hubungan antara berbagai variabel yang diamati. Dalam perhitungan statistik, analisis variansi sangat dipengaruhi asumsi-asumsi yang digunakan seperti distribusi normal, identik (homogenitas variansi), independen (kebebasan dari kesalahan) dan linieritas model. Asumsi kenormalan distribusi memberi penjelasan terhadap karakteristik data dari tiap kelompok. Asumsi tersebut dapat dilihat dengan membuat grafik berdasarkan residual dari selisih data hasil pengujian aktual dan data hasil prediksi, ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$Residual = actual\ value - predicted\ value \quad (2.1)$$

*Two-Way ANOVA (analysis of variance)* pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh perbedaan beberapa variabel bebas (faktor) dengan variabel terikat (respon) dan masing-masing variabel memiliki dua taraf (*level*). Untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap respon, maka pada ANOVA perlu dihitung jumlah-jumlah kuadrat. Adapun langkah-langkah menghitung dengan *Two-Way ANOVA*, yaitu :

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak
- b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal

c) Menentukan hipotesis :

- $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a$  (tidak ada efek terhadap perlakuan)
- $H_1 : b_1 \neq b_j$  (terdapat efek terhadap perlakuan)

d) Menentukan jumlah kuadrat total :

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.2)$$

e) Menentukan jumlah kuadrat faktor A dengan rumus :

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

f) Menentukan Jumlah kuadrat faktor B dengan rumus :

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

g) Menentukan Jumlah kuadrat faktor C dengan rumus :

$$SS_C = \left[ \sum_{i=1}^{k_C} (C_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

h) Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A, B dan C :

$$SS_{AxBxC} = \left[ \sum_{i=1}^c \left( \frac{(AxBxC)_i^2}{n_{AxBxC_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B - SS_C \quad (2.5)$$

i) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*) :

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AxBxC} \quad (2.6)$$

j) Menentukan derajat kebebasan total :

$$v_T = N - 1 \quad (2.7)$$

k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A :

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.8)$$

l) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B :

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.9)$$

m) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) C :

$$v_C = k_C - 1 \quad (2.10)$$

n) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B :

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.11)$$



- o) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan C :

$$v_{AxC} = (v_A)(v_C) \quad (2.12)$$

- p) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi B dan C :

$$v_{BxC} = (v_B)(v_C) \quad (2.13)$$

- q) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A, B dan C :

$$v_{AxBxC} = (v_A)(v_B)(v_C) \quad (2.14)$$

- r) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*) :

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_C - v_{AxB} - v_{AxC} - v_{BxC} - v_{AxBxC} \quad (2.15)$$

- s) Melengkapi tabel hasil uji *bending* untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

- t) Menentukan taraf signifikansi ( $\alpha$ )

- u) Menentukan nilai distribusi  $F_{TABEL}$

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.16)$$

- v) Jika  $F_{HITUNG} (F_o) < F_{TABEL}$ , maka hipotesis ( $H_o$ ) dapat diterima.

- w) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.17)$$

Tabel 2.2 ANOVA Table For Select Factorial Model

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F <sub>0</sub>
Overall model	SS <sub>model</sub>	(k <sub>A</sub> .k <sub>B</sub> )-1	SS <sub>model</sub> /(k <sub>A</sub> .k <sub>B</sub> )-1	MS <sub>model</sub> /MS <sub>E</sub>
Main Effect of A	SS <sub>A</sub>	v <sub>A</sub>	SS <sub>A</sub> / v <sub>A</sub>	MS <sub>A</sub> /MS <sub>E</sub>
Main Effect of B	SS <sub>B</sub>	v <sub>B</sub>	SS <sub>B</sub> / v <sub>B</sub>	MS <sub>B</sub> /MS <sub>E</sub>
Main Effect of C	SS <sub>C</sub>	v <sub>C</sub>	SS <sub>C</sub> / v <sub>C</sub>	MS <sub>C</sub> /MS <sub>E</sub>
A x B interaction	SS <sub>AB</sub>	v <sub>AxB</sub>	SS <sub>AB</sub> / v <sub>AxB</sub>	MS <sub>AB</sub> /MS <sub>E</sub>
A x C interaction	SS <sub>AC</sub>	v <sub>AxC</sub>	SS <sub>AC</sub> / v <sub>AxC</sub>	MS <sub>AC</sub> /MS <sub>E</sub>
B x C interaction	SS <sub>BC</sub>	v <sub>BxC</sub>	SS <sub>BC</sub> / v <sub>BxC</sub>	MS <sub>BC</sub> /MS <sub>E</sub>
A x B x C interaction	SS <sub>ABC</sub>	v <sub>AxBxC</sub>	SS <sub>ABC</sub> / v <sub>AxBxC</sub>	MS <sub>ABC</sub> /MS <sub>E</sub>
Error	SS <sub>E</sub>	v <sub>e</sub>	SS <sub>E</sub> / v <sub>e</sub>	
Total	SS <sub>Total</sub>	v <sub>T</sub>		

## 2.14 Filament PolySmooth

*PolySmooth* (PVB) adalah filamen yang dibuat oleh *Polymaker* untuk mendapatkan hasil akhir yang mengkilap dan halus saat terpapar alkohol isopropil

atau etanol, tetapi mempertahankan sifat mekanik yang seimbang dan mudah dicetak. Fokus pengembangan filamen ini adalah untuk menemukan komposisi kimia yang ideal untuk mendapatkan pasca-pemrosesan tanpa garis khas antara lapisan dan dengan kecerahan yang spektakuler. Ini dicapai berkat *Polysher*, sebuah mesin yang menciptakan awan homogen (tetes 5 hingga 10 mikron) alkohol isopropil di sekitar potongan yang dicetak dengan *PolySmooth*. Menghilangkan semua tanda eksternal dan penawaran sebagai hasil akhir gloss halus dan seragam, seolah-olah itu dicat atau dipernis sepotong tapi tanpa mengorbankan ekonomi yang besar atau waktu yang terlibat dalam perawatan ini, terutama dalam potongan-potongan kecil (*Filament 2 Print*, 2019).