# **BAB II**

# **TINJAUAN PUSTAKA**

## **Kajian Pustaka**

Pada saat melakukan penelitian, sangat diperlukan 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 Referensi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
| 1 | *Influence of Internal Fill Pattern, Polishing Time and Z-Axis Orientation on the Tensile Strength of the 3D Printed Part* | Dicky Seprianto, Iskandar, Romi Wilza, EYT Adesta (2019) | *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* | *Based on statistical analysis using Design-Expert® 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.* |
| 2 | Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D *Printing* 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 2 *level factorial* dengan model 4 *factorial interaction* (4FI) berbantukan perangkat lunak *design-expert* telahberhasil dibuat untuk memprediksi pengaruh faktor-faktor terhadap akurasi geometri objek  *3D printing dengan teknologi FDM. Dari persamaan regresi linier terhadap respon lenght, width dan height yang dihasilkan menggunakan ANOVA dan telah dilakukan uji konfirmasi*  *dapat ditentukan kondisi optimal kombinasi factor yaitu layer height=0.14* |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
|  |  |  |  | *mm, print speed=51.73 mm/s, perimeter shells=3 mm dan waktu polishing=20 menit. Dengan perkembangan bahan baku material maju untuk pembuatan objek 3D printing, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pengaruh material ditinjau dari akurasi geometri maupun mechanical properties yang sesuai dengan aplikasi.* |
| 3 | *Optimization Of Process Parameter For Digital Light*  *Processing (DLP) 3D Printing* | Afizah Ibrahim, N Sa’ude, Dan M Ibrahim (2017) | *Proceedings of Academics World 62nd International Conference, Seoul, South Korea, 18th-19th April 2017* | *From overall finding, it can be summarized that layer thickness of 50 μm with exposure time of 9 sec have better mechanical properties for B9R-1-Red along with*  *low dimensional stability compared to other studied layer thickness and exposure time.* |
| 4 | *Digital Light Processing (DLP): Anisotropic Tensile*  *Considerations* | E. Aznarte, C. Ayranci, dan A.J. Qureshi  (2017) | *Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International* | *Considering the results from this study, a more detailed study is being carried out to design and manufacturing parameter optimization for the mechanical properties. This includes an extended design of experiments study to establish the correlation and interaction between*  *different factors.* |
| 5 | *Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composites* | Wenfeng Hao, Ye Liu, Hao Zhou, Haosen Chen, Daining Fang (2017) | *Thermosetting composites*  *3D printing*  *Printed composites grid Fused Deposition Modeling* | *(1) The 3D printing platform for preparing continuous carbon fiberreinforced thermosetting composites was based on the results of Fused Deposition* |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
|  |  |  | *(FDM) Materials characterization* | *Modeling (FDM), which dictated the use of a printing head, fiber bundle conveying pipe, epoxy pool, control*  *system, building platform, X-Y motion mechanism, etc. This modified 3D printer can manufacture*  *the composite components over three axes with position control of rotation angles.*  *(2) The composite lamina and composite grid as well as nuts and honeycomb were manufactured using FDM based on the 3D printing platform. The path of the printing head for the composite structures was designed and optimized to produce 3D printing of*  *the continuous carbon fiber reinforced thermosetting composite structures, which was more efficient and affordable than conventional*  *manufacturing techniques.*  *(3) The tensile strength and elastic modulus of the resulting reinforced thermosetting composites was 792.8 MPa and 161.4 GPa. In addition, the flexural strength and elastic modulus were 202.0 MPa and 143.9* |
| 6 | *Effect of impact damage on the curved beam interlaminar strength of carbon/epoxy laminates* | Wenfeng Hao,Yanan Yuan,Jianguo Zhu, Lei Chen (2017) |  |  |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
|  |  |  | *Composite laminates, interlaminar strength, low velocity impact, four-point bending, digital speckle correlation method* | *The bending interlaminar strength and bending interlaminar strength after impact of carbon/epoxy-laminated curved beams were studied experimentally using four-point bending test and low velocity impact. First, the post- impact damage of the laminated curved beams with different radii was analyzed based on ultrasonic C-scan images. Then, the effect of impact damage on both the interlaminar strength and the maximum interlaminar radial stresses of the laminated curved beams were investigated. Finally, the*  *full-field displacement distributions of the laminated curved beams were obtained using digital speckle correlation method. Four-point bending experimental results play a significant role for interlaminar strength in evaluating the*  *laminated curved beams with and without impact damage.* |
| 7 | *Modular Elastomer Photoresins for Digital Light Processing Additive Manufacturing* | Carl J. Thrasher, Johanna J. Schwartz, Andrew J. Boydston (2017) | *3D printing,* [*elastomeric*](https://pubs.acs.org/action/doSearch?action=search&AllField=Elastomeric&qsSearchArea=AllField)*, flexible, stereolithography,* [*digital light processing*](https://pubs.acs.org/action/doSearch?action=search&AllField=Digital+Light+Processing&qsSearchArea=AllField) | *Printed test specimens displayed maximum elongations of up to 472% under tensile load, a tunable swelling behavior in water, and Shore A hardness values from 13.7 to 33.3. A combination of the resins was used to print a functional multimaterial three-*  *armed pneumatic gripper. These photoresins could* |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
|  |  |  |  | *be transformative to advanced prototyping applications such as simulated human tissues, stimuli-responsive materials, wearable devices, and soft robotics.* |
| 8 | *The Effect on the Flexural Strength, Flexural Modulus and Compressive Strength of Fibre Reinforced Acrylic with That of Plain Unfilled Acrylic Resin – An in Vitro Study* | Tony C Thomas, Aswini Kumar, Shamaz Mohamed,  Vinod Krishnan, Anil Mathew, Manju (2015) | *Glass, Kevlar fibres, Polyethylene, Poly methyl methacrylate* | *flexural modulus. The compressive strength of the fibre reinforced samples was not statistically different from the plain acrylic. Further studies are required to evaluate the physical properties of fibres at varying percentage concentrations and further clinical evaluations are required to substantiate these results as well as the biocompatibility of the fibres. The effects of various surface treatments of the fibres also have to be evaluated for improving the properties.* |
| 9 | *Short fiber reinforced 3d printed ceramic composite with shear induced alignment* | Doruk Erdem Yunus, Ran He, Wentao Shi, Orhan Kaya, Yaling Liu  (2017) | *Stereolithography, Composites (B), Shaping (A), Sintering (A)* | *A DLP based SLA device, incorporated with the shear-induced fiber alignment apparatus was utilized to fabricate fiber reinforced silica matrix composites. 0.0–1.0 wt% NCCF and 0.0–10.0 wt% alumina, silica, half and half mix of alumina and silica were used as*  *reinforcement for the silica matrix. The shear-induced fiber alignment as a result of oscillation was demonstrated. Additionally, printed wall pattern, such as channels* |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
|  |  |  |  | *with circular path, was shown to reorient the fibers into different directions from the oscillation direction. Up to 45° difference between alignment and oscillation direction was successfully achieved during the study. Both ceramic fibers and NCCF responded to the alignment process similarly and got aligned along the wall direction.*  *The EFLF was employed for the flexural strength analyzes of the samples. Flexural strength test indicated the expected increase of the strength along the alignment direction with the shear induced alignment of the reinforcement. Alignment improved the flexural strength further up by*  *26.2%, 95.2%, 78.6%, and 204.8% with silica, alumina, alumina-silica mix, and NCCF with used maximum weight fractions, respectively. Both fiber failure and fiber pull-out were existed in the fracture surface, but fiber pull-out was the main fracture mechanism.*  *In summary, shear induced alignment with oscillation and wall pattern was shown to be also viable for ceramic applications of SLA. The method can be utilized for production of anisotropic ceramic pieces with different fiber orientation and pattern on each layer.* |
| No | Judul  Penelitian | Peneliti  (Tahun) | Sumber  Penelitian | Kesimpulan |
| 10 | *Influence of SLA Rapid Prototyping process parameters on the forming*  *precision* | Shi Yaru, Cao Yan, Wang Yongming, Huang Liang (2016) | *Conference: 2016 6th International Conference on Mechatronics, Computer and Education Informationization (MCEI 2016)* | *This paper is based on SLA Rapid Prototyping technology, the pretreatment of three dimensional model of face gear mold. The effect of different factors on the quality and efficiency of forming master molding rate to deal with three aspects of the process*  *parameters of Rapid Prototyping face gear mold and face gear mold parts. Based on SLA, a rapid manufacturing process of gear master die for spur gears is presented, and the process is verified by experiments. The results show that the process can not only make the mold face gear with high*  *quality in a relatively short period of time, the mother also made mold also has high strength, high temperature resistance and low cost, which has guiding significance for the rapid manufacturing technology in casting wax mold.* |

## ***Computer Aided Design* (CAD)**

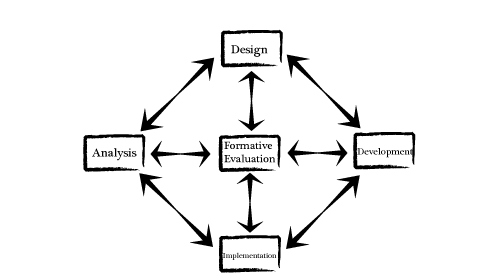
*Computer Aided Design* adalah suatu perangkat lunak komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi, 3 dimensi dan *solid modeling*.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

## ***Rapid Prototyping***

Pada akhir 1960-an, banyak peralatan mesin yang dikendalikan oleh komputer mulai muncul di pabrik-pabrik sebagai inovasi terbaru dalam pembuatan efisien dibagian mekanis. Alat ini mampu menyelesaikan tugas-tugas manufaktur dengan akurasi yang lebih besar dan konsistensi daripada yang dapat dicapai secara manual, tetapi mereka harus diprogram setiap kali bagian baru perlu dibangun.

Sejalan dengan itu di *University of Rochester* profesor teknik Herbert Voelcker mengembangkan teori matematika dan algoritma awal yang membentuk dasar untuk program komputer yang bagian-bagian mesin desain termasuk bagaimana menentukan permukaan bagian dalam tiga-dimensi. Voelcker sangat tertarik dalam mengotomatisasi proses yang akan mengambil data dari program-program komputer untuk program komputer yang dikendalikan alat-alat baru mesin. Banyak pekerjaan yang menjadi Voelcker standar operasional sepanjang tahun 1970-an dalam hal bagaimana bagian-bagian mekanik dirancang. Pekerjaan ini akhirnya mengarah pada pengembangan *Computer Aided Design* (CAD) program perangkat lunak seperti yang dikenal saat ini.

Metode *rapid prototyping* pertama ditemukan pada tahun 1986 di California, USA yaitu dengan metode *Stereolithography*. *Rapid prototyping* dapat didefinisikan sebagai metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala (*prototype*) dari mulai bagian suatu produk (part) ataupun rakitan produk (*assembly*) secara cepat dengan menggunakan data *Computer Aided Design* (CAD) tiga dimensi. *Rapid prototyping* memungkinkan visualisasi suatu gambar tiga dimensi menjadi benda tiga dimensi asli yang mempunyai *volume*. Proses tersebut seperti pada Gambar 2.1 dibawah ini. (en.wikiversity.org, 2018).



Gambar 2.1 *Rapid Prototyping Model*

1. ***Rapid Prototyping* dalam Dunia Industri**

*Rapid prototyping* sangat berguna dan diperlukan dalam dunia industri, yaitu sebagai berikut :

1. Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
2. Mengurangi kesalahan-kesalahan produksi yang mengakibatkan membengkaknya biaya produksi.
3. Mengurangi waktu pengembangan produk.
4. Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
5. Memperpanjang jangka pakai produk misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.
6. **Kelebihan dan Kekurangan**
7. Kelebihan *Rapid Prototyping* :

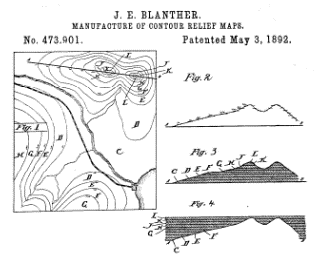
* Mengurangi waktu pengembangan produk.
* Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
* Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
* Memperpanjang jangka pakai produk, misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.

1. Kekurangan *Rapid Protoyping*:

* Memerlukan sumber daya yang cukup besar, terutama untuk proyek dengan skala besar.
* Resiko teknis yang tinggi.
* Sistem yang tidak bisa dimodularisasi.
* Memerlukan kerja keras dalam pengembangan.

## **Perkembangan Teknik *Rapid Prototyping* Modern**

Sejak publikasi ilmiah yang dilakukan oleh Kodama (1982), makin banyak penelitian tentang metode atau teknik yang digunakan untuk membentuk model dengan lebih cepat. Sejumlah teknologi yang sekarang dipakai pada mesin 3D *printing* selalu menggunakan salah satu dari beberapa metode dari peneliti-peneliti jaman dahulu dan menggabungkannya dengan teknologi jaman sekarang. Peta kontur saat pembentukan model seperti pada gambar 2 dibawah ini. (Blanther, 1892).



Gambar 2.2 Blanther patent untuk membentuk peta kontur 3D menggunakan

metode layer

*Rapid prototyping* makin berkembang seiring dengan perkembangan teknologi yang lainnya. Satu dan yang lainnya tidak saling mematikan namun justru saling melengkapi (Mahindru 2013). Seiring dengan perkembangan teknologi yang lain, peneliti bidang *rapid prototyping* mengkolaborasikan dengan teknologi yang ada untuk membuat proses rapid prototyping lebih sempurna dan mudah. Perkembangan komputer dan software CAD semakin menambah akselerasi berkembangnya metode yang memiliki beberapa nama diantaranya *additive manufacturing*, *layer manufacturing*, atau *free form manufacturing*. Beberapa peneliti dan metode yang dikembangkan ditunjukkan pada Tabel 2.2. (Rinanto, A., Sutopo, W./ Jurnal Metris 18, 2017. 105–112).

Tabel 2.2 Perkembangan Penelitian Metode *Rapid Prototyping*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tahun | Penemu | Nama  Metode | Prinsip | Ilustrasi |
| 1951 | Munz | *Photo-gliph recording* | Menggunakan teknik scanning pada sebuah obyek, dari hasil scanning permukaan obyek, layer demi layer polymer ditambahkan hingga terbentuk obyek yang sama. |  |
| 1968 | Swainson | *Photocemial SFF System* | Menggunakan 2 sinar laser sebagai pembentuk obyek berbahan *polymer*, dengan menggunakan integrasi komputer dan laser sebagai peminda/ *scan*. |  |
| 1971 | Ciraud | *Powder SFF* | Menggunakan media berupa serbuk/ *powder*, kemudian dengan menggunakan laser memanaskan *powder* sesuai desain sehingga *powder* yang terkena panas |  |
| 1979 | Housholder | *Powder laser sintering* | Solidifikasi menggunakan proses sintering terhadap material yang berbentuk serbuk. Pembentukan dengan cara |  |
| Tahun | Penemu | Nama  Metode | Prinsip | Ilustrasi |
|  |  |  | memanaskan bagian yang dipilih lapis demi lapis hingga terbentuk produk. |  |
| 1981 | Kodama | *Stereolithography system* | Produk padat dibuat dengan cara menyinari polimer pengerasan foto cair dengan *ultraviolet*, dan menumpuk lapisan padat penampang melintang. |  |

## **SLA (*Stereolithography*)**

Menggunakan sinar *ultraviolet* untuk membekukan permukaan *photopolymer* dengan petunjuk *format* STL. Proses berlanjut lapisan demi lapisan hingga *part* terbentuk. Dalam teknik SLA, sebuah prototipe dibuat dengan cara menembakkan sinar laser ke permukaan sebuah wadah (*vat*) yang berisi cairan *photopolymer* (resin). Cairan ini akan langsung mengeras saat laser mengenai permukaannya. Setelah satu layer selesai dikerjakan, sebuah platform digerakkan turun beberapa milimeter, sebuah penyapu (*recoater blade*) membersihkan sisa-sisa resin di permukaan, dan layer berikutnya dikerjakan di atas layer yang telah diselesaikan, seperti terlihat pada Gambar 2.3. (American Chemical Society, 2017).



1. *Build Platform*
2. *Resin Vat*
3. *DLP Projector*

Gambar 2.3 Cara Kerja SLA-DLP 3D Printer

## **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).

## ***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 ilustrati resin setelah proses pencetakan dengan SLA-DLP 3D *Printer* seperti pada Gambar 2.4 dibawah ini. (Monocure 3D, 2019).



Gambar 2.4 *Liquid photopolymer resin* setelah proses pencetakan

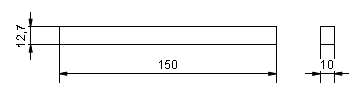
## **Pengujian *Bending***

Pengujian *bending* adalah salah satu pengujian yang sudah lama dipakai karena dapat dilakukan pada bahan uji berbentuk standar dan tidak perlu menggunakan mesin uji khusus atau mesin uji seperti biasanya (Supardi, E, 1999).

Pengujian suatu bahan dimaksudkan untuk memperoleh kepastian mengenai sifat-sifat dan kekuatan bahan tersebut. Melalui pengujian yang teliti akan diketahui apakah bahan tersebut dapat digunakan untuk suatu konstruksi tertentu.

Pengujian *bending* (bengkok) *static* merupakan salah satu pengujian yang dipakai sejak lama karena dapat dilakukan terhadap batang uji berbentuk sederhana. Pengujian bengkok dapat dilakukan terhadap bahan getas dan untuk bahan liat dimaksudkan agar dapat menentukan adanya cacat dan retakan pada permukaan material. Pengujian bengkok pada bahan keras dan getas adalah cara terbaik untuk menentukan kekuatan dan kegetasan.

Untuk mengetahui tegangan *bending* dapat dilakukan pengujian dengan mesin uji *Torsee*. Pada pengujian *bending,* bagian atas spesimen akan mengalami tegangan tekan dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Bentuk spesimen pengujian ketahanan *bending* sesuai dengan standar. (C. Chaithanyan, H. Venkatasubramanian, Dr. S. Raghuraman, T. Panneerselvam, 2013).



Gambar 2.5 Spesimen Uji *Bending* ASTM D 790

Tegangan *bending* suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut :

............ (2.1)

σ = Tegangan *bending*, MPa

M = Momen, N.mm

I = Inersia, mm4

c = Jarak dari sumbu netral ke tegangan serat, mm

Pada material yang *homogeny* pengujian batang sederhana dengan dua titik dudukan dan pembebanan pada tengah-tengah batang uji (*three point bending*), maka tegangan maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut (ASTM D 790) :

.......... (2.2)

Keterangan:

σ = Tegangan bending, MPa

P = Beban, N

L = Panjang span, mm

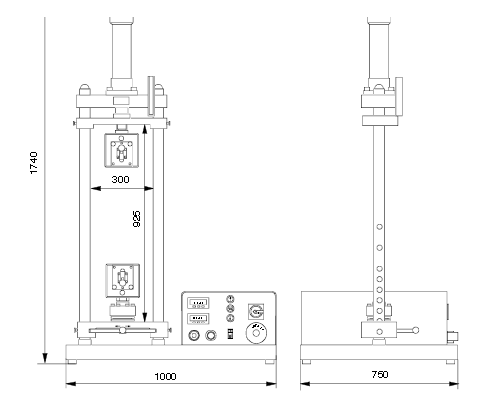
b = lebar batang uji, mm

d = tebal batang uji, mm

## **Alat Uji *Bending***

Alat uji *bending* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Hung Ta Type HT 9502 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut: (Hung Ta Instrument Co., Ltd, 2015).

* Generasi uji-gaya: hidrolik
* Kekuatan uji, dapat disesuaikan: 2 - 50 kN
* Indikasi kelebihan akustik
* Maks. piston stroke: 150 mm
* Area piston: 3436 mm2
* Maks. tekanan sistem: 175 bar

.

Gambar 2.6 Hung Ta Type HT 9502

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

(Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2018) ANOVA pada dasarnya bertujuan untuk menguji hipotesa (Ho) 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.